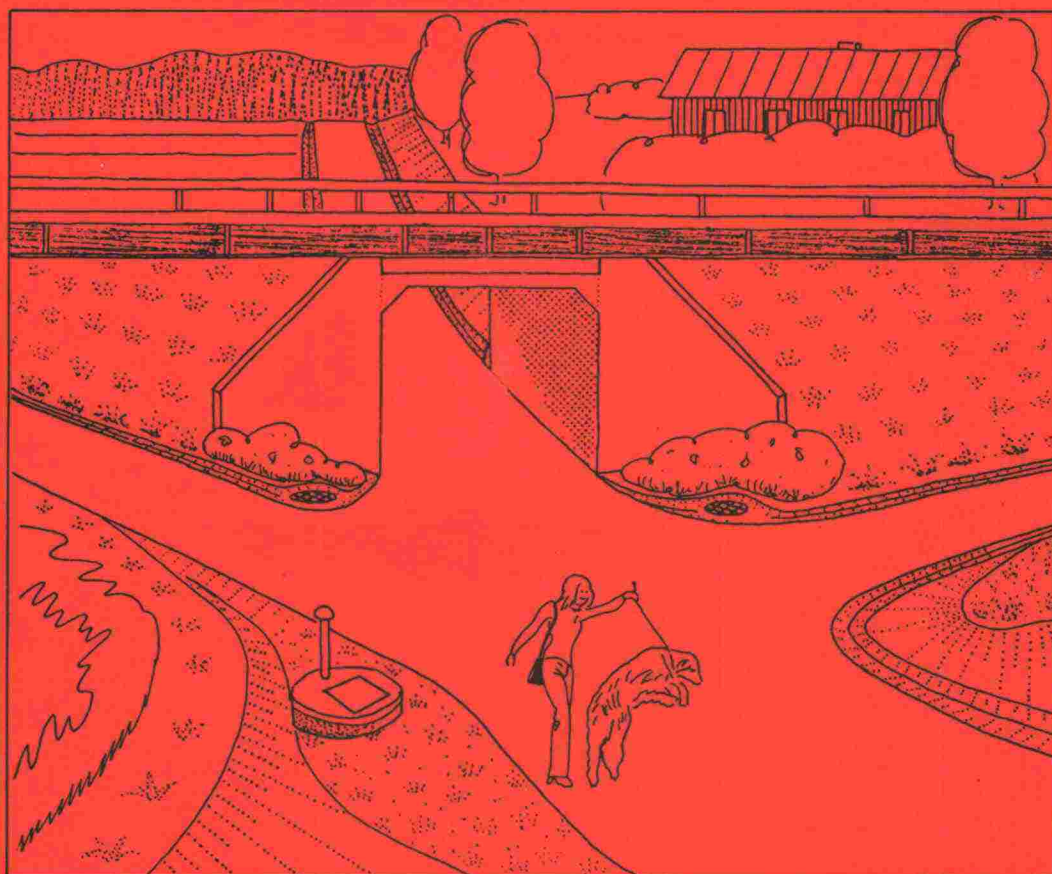


# SYVIEN TIELEIKKAUSTEN POHJAVESISELVITYKSET



TIE- JA VESIRAKENNUSHALLITUS  
MAA JA VESI OY

1984

TVH 732126

08  
TIE-



84 0882

SYVIEN TIELEIKKAUSTEN POHJAVESISELVITYKSET

Tie- ja vesirakennushallitus

Helsinki 1984

ISBN 951-46-5585-0



# SISÄLLYS

## ALKULAUSE

1	JOHDANTO	1
2	PERUSKÄSITTEET	4
3	TUTKIMUKSET	10
3.1	Etäistutkimukset	10
3.2	Maaperätutkimukset	10
3.3	Pohjavesihavainnot	11
3.4	Kaivohavainnot	12
3.5	Pohjaveden koepumppaus ja veden- läpäisevyyskokeet	13
3.5.1	Pumppausjärjestelyt	17
3.5.2	Koepumppaushavainnot	18
3.6	Mittausten tarkkuusvaatimukset ja tulosten kirjaaminen	21
3.7	Tulosten käsittely, tulkinta ja esittäminen	22
4	GEOTEKNISET NÄKÖKOHDAT	23
4.1	Moreeni- ja kallioalueet	23
4.2	Sora- ja hiekka-alueet	24
4.3	Savi- ja silttialueet	24
4.4	Turvealueet	25
4.5	Lähialueiden rakenteiden inventointi	26
4.5.1	Tutkimus- ja suunnitteluvaiheen tehtävät	26
4.5.2	Rakennusvaiheen tehtävät (katselmukset)	27
4.6	Tarkkailumittaukset	27
4.7	Pysyvästä pohjavedenpinnan alenemisesta aiheutuvien haittojen arviointi ja estä- minen	28
4.7.1	Rakenteet	28
4.7.2	Kasvillisuus	30
4.8	Lyhytaikaisen pohjavedenpinnan alentamisen haittavaikutukset	31
5	RAKENNE- JA KUIVATUSRATKAISUT	33
5.1	Pohjavedenpinnan säätelyn tavoitteet	33

5.2	Valuma-alue ja virtaama	34
5.3	Kuivatusratkaisut	36
5.4	Siltatyypin valinta	37
5.5	Pumppaamon valinta	40
5.6	Työnaikainen pohjavedenpinnan alentaminen	42
5.7	Kaivannon tuenta	44
6	VEDEN LAATUTEKIJÄT	45
7	ERITYISOSA	47
7.1	Pohjaveden virtauksen perusyhtälöt	47
7.2	Laskentamenetelmät	50
7.3	Geotekniset laskelmat	62
7.31	Painumalaskenta	62
7.32	Sallittujen painumien ja painumaerojen suuruus eri rakenteille	67

## ALKULAUSE

Tämän ohjekirjan laatimiseen ovat antaneet virikkeen viime vuosina esille tulleet tapaukset, joissa pohjavedenpinnan aleneminen on aiheuttanut ympäristövaurioita.

Ohjekirjassa on erityisesti painotettu tutkimus- ja suunnitteluvaiheessa tehtäviä selvityksiä. Tällöin välttyään yllätyksiltä rakennusvaiheessa. Ohjeessa on käsitelty myös rakennusvaiheen työmenetelmien, työnaikaisten kuivatusratkaisujen ym. tekijöiden vaikutusta pohjavesiolosuhteisiin. Lisäksi on annettu ohjeita työnaikaisten ja työn jälkeen tehtävien tarkkailumittausten suorittamisesta.

Ohjeen on laatinut tie- ja vesirakennushallituksen maatutkimustoimiston toimeksiannosta Maa ja Vesi Oy. Työhön ovat osallistuneet DI Seppo Suhonen, FM Heikki Wihuri ja ins. Pekka Pekki. Silta-teknisissä kysymyksissä on avustanut DI Jaakko Mäkelä.

Työn valvojina ovat toimineet DI Matti Kolhinen ja DI Markku Valtonen TVH:n maatutkimustoimistosta ja DI Pauli Velhonoja TVH:n tiensuunnittelutoimistosta.

Ohjekirja jakautuu kahteen osaan; yleisosa ja erityisosa. Yleisosassa on pyritty selvittämään tavantomaiset syvien tieleikkausten yhteydessä esille tulevat kysymykset. Erityisosa täydentää ja syventää yleisosaa. Lisäksi erityisosassa on käsitelty sopivia laskentamenetelmiä.



## JOHDANTO

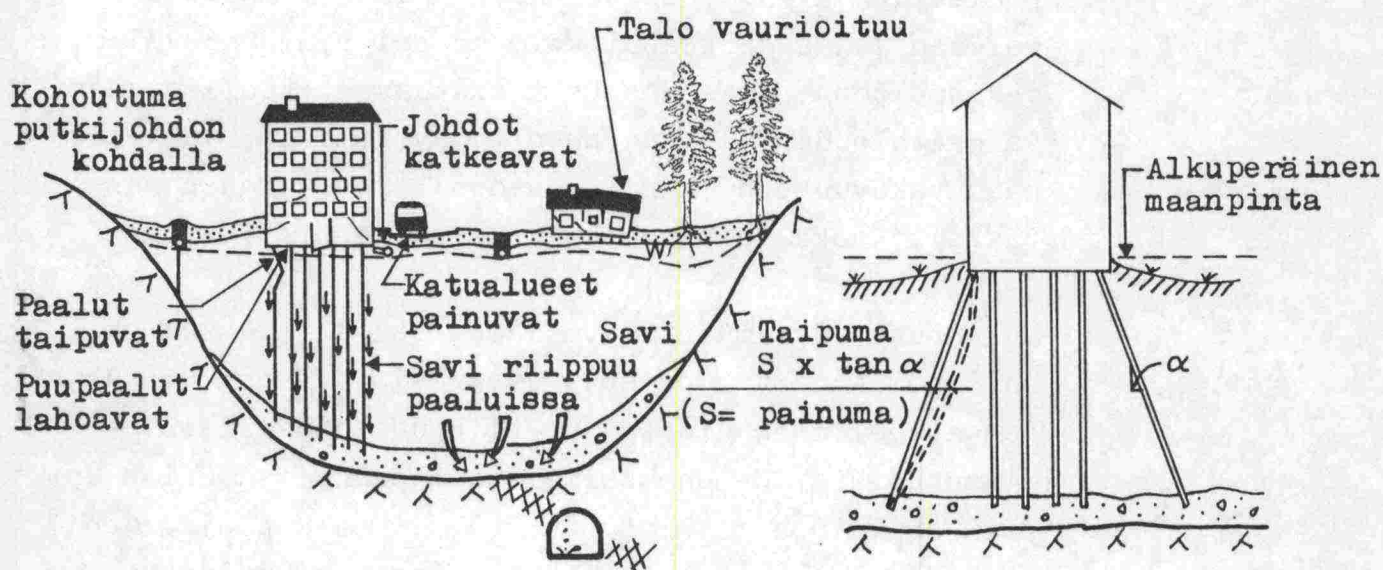
Pohjaveden alentamisessa on kysymyksessä luonnon tasapainotilan muuttuminen, jonka vaikutukset kertautuvat mitä moninaisimpien sivuvaikutusten kautta. Vaikutukset saattavat olla hitaasti ilmeneviä ja varsin vaikeasti etukäteen arvioitavissa.

Pohjaveden alenemisen tai alentamisen vaikutukset voidaan jakaa karkeasti kolmeen eri ryhmään: vaikutus vesihuoltoon, joka käsittää asutuksen, teollisuuden ja maatalouden vedentarpeen tyydyttämisen, vaikutus maan vakavuuteen ja rakenteiden/rakennusten perustuksiin, sekä vaikutus kasvillisuuteen.

Vaikutus veden määrään voidaan laskea yhtä suureksi kuin poistuva tai poistettava vesimäärä on. Vaikutuksen alueellinen ulottuvuus riippuu paikallisista olosuhteista. Se on useimmissa tapauksissa eri suuntiin erilainen. Pohjasuhteista riippuen pohjaveden alenemisalue saattaa ulottua kauas varsinaisesta alentamiskohdasta (50 m...useiden kilometrien etäisyydelle). Pohjavedenpinnan alentuessa saattaa virtaussuunnan muutoksesta ym. tekijöistä johtuen veden laatu huonontua. Veden laadun muutoksia aliarvioidaan usein. Ne ovat kuitenkin yhtä vakavia seurauksia kuin veden määrällinen väheneminen.

Pysyvä pohjavedenpinnan aleneminen syvien tieleikkausten rakentamisen yhteydessä saattaa aiheuttaa painumavaurioita lähistöllä olevissa rakennuksissa. Edelleen erityisen vaaran muodostavat puiset perustusrakenteet (hirsiarinat, puupaalut), joiden lahoaminen saattaa aiheuttaa vaikeita vaurioita. Samoin korroosio alkaa vaikuttaa huomattavasti nopeammin pohjavedenpinnan yläpuolella kun hapen vaikutus alkaa tuntua. Myös putkijohdot saattavat vaurioitua

painumien johdosta. Samoin ympäristöekologisia haittoja (puusto, kasvillisuus) saattaa aiheutua pohjaveden alenemisesta ja vesitalouden muutoksista johtuen. Oheinen liitekuva havainnollistaa vaurioita ja niiden syntymiseen johtavia syitä.



Kuva 1. Kaaviokuva pohjaveden alenemisen aiheuttamista vaurioista.

Vaurion aiheuttaja on velvollinen korvaamaan syntyneet vahingot. Jos ympäristön vaurioriskiä ei ole otettu huomioon jo suunnitteluvaiheessa, saattaa rakennustyöstä olla seurauksena huomattavat korvausvaatimukset.

Syvät pohjavedenpinnan alapuolelle ulottuvat tieleikkaukset tulevat erityisesti kysymykseen alikuiksiltojen ja käytävien rakentamisen yhteydessä.



Muissakin tapauksissa saattaa syvä tieleikkaus ulottua pohjavedenpinnan tasoon tai sen alapuolelle.

Vesilain mukaan ei ilman vesioikeuden lupaa saa käyttää pohjavettä tai muutoin ryhtyä toimenpiteeseen, josta voi olla seurauksena toisen kiinteistöllä talousveden saamisen tai erityisen antoisen pohjavesi-esiintymän hyväksikäyttämisen olennainen huononeminen taikka jonkin pohjavedenottamon veden saannin vaikeutuminen. Edelleen vaaditaan vesioikeuden lupa kaikkeen pohjaveden ottoon, joka ylittää  $250 \text{ m}^3/\text{d}$ . Mikäli pohjaveden pumppaus on vähäistä eikä siitä aiheudu ylläesitettyjä seuraamuksia voidaan pumppaukseen ryhtyä ilman lupamenettelyä.

Tienrakennustyössä, tieleikkauksen ulottuessa pohjavedenpinnan alapuolelle, on yleensä tehtävä erityinen pohjavesiselvitys suunnitteluvaiheessa ainakin seuraavissa tapauksissa:

- Kysymyksessä vedenottamoalue tai sen suoja-alue.
- Tieleikkaus tehdään savialueelle ja lähistöllä on rakennuksia, jotka voivat vaurioitua pohjavedenpinnan alenemisesta.
- Tieleikkauksen lähellä on rakennuksia, joiden talousvesikaivojen vedensaanti voi vaikeutua.
- Yleensä tieleikkauksen ulottuessa pohjavedenpinnan alapuolelle hiekka- tai sora-alueella.

Pohjaveden alentamiseen liittyvien tutkimusten tavoitteena on alkuperäisen tilanteen kartoittaminen, odotettavissa olevien vaurioiden selvittäminen, vältettävissä olevien vaurioiden estäminen sekä valmiin rakenteen toimivuuden takaaminen.

## PERUSKÄSITTEET

Maanpinnan alapuolella oleva vesi voidaan jakaa maaveteen, vajoveteen, kapillaariveteen ja pohjaveteen. Maavesi on sitä kosteutta, jota kasvit käyttävät hyödykseen ja joka on molekyylivoimien vaikutuksesta paikallaan pysyvää. Maavesikerroksessa on osa huokosista ilman täyttämiä. Vajovedellä tarkoitetaan sitä osaa sateesta maaperään imeytynyttä vettä, joka on painovoiman vaikutuksesta matkalla alas pohjavesikerrokseen. Kapillaarivedellä tarkoitetaan sitä pohjavedenpinnan yläpuolella olevaa vesikerrosta, joka kohoaa ylöspäin kapillaarivoimien vaikutuksesta. Pohjavedellä tarkoitetaan sitä maaperän vettä, joka täyttää tietyn tason alapuolella kaikki huokokset ja joka liikkuu painovoiman vaikutuksesta.

Pohjaveden painetason ja sitä säätelevien tekijöiden mukaan puhutaan vapaasta pohjavedestä tai salpavedestä. Vapaan pohjaveden pinnankorkeutta säätelee ilmanpaine eli pohjavedenpinta asettuu vettä läpäisevässä kerrostumassa korkeudelle, jossa paine sen pinnalla on ilmakehän paineen suuruinen. Jos pohjavesikerroksen yläpuolella on verrattain ohut vettä läpäisemätön kerros, sen päälle kertyvää vapaata pohjavettä kutsutaan orsi-vedeksi. Jos pohjavedenpinnan korkeuden määrää vettä läpäisemätön kerrostuma siten, että pohjavedenpinta ilman sitä nousisi korkeammalle, kutsutaan pohjavettä salpavedeksi. Tästä vedestä käytetään myös nimitystä arteesinen pohjavesi. Sen yläpinnassa on paine suurempi kuin ilmakehän paine. Kun salpakerros puhkaistaan, nousee pohjavedenpinta tämän yläpuolelle pohjavedenpaine- eli pietsomertiselle tasolle.

Suomessa muodostuu sadannasta, joka vaihtelee 500 mm ja 750 mm välillä vuodessa, pohjavedeksi maalajeista riippuen seuraavasti:



- moreenialue 10-30 %
- savialue 0-10 %
- suoalue 30-50 %
- harju- ja kangasalue 30-60 %, jopa enemmänkin.

Edellä esitettyjä pohjaveden muodostumismääriä on pidettävä alueellisina arvoina, jotka pätevät vain verrattain suurissa yksiköissä. Mikäli kysymyksessä on pieni tai pienehkö alue, vaikuttavat muut tekijät kuten kasvipeitteisyys, kaltevuus, sateiden rankkuus jne. niin voimakkaasti, että poikkeamat esitetyistä arvoista ovat 20-30 %-yksikön suuruusluokkaa.

Seuraavassa esitetään pohjavesivirtauksen perusyhtälöt, jotka parhaiten kuvaavat pohjaveden liikettä huokoisessa aineessa eli maaperässä. Samalla selvitetään pohjavesihydrologiassa käytettäviä peruskäsitteitä sekä niiden merkitystä.

Virtaamanopeudella tarkoitetaan vesimassan virtaamanopeutta eli virtausnopeutta jaettuna huokoisen aineen kokonaispinta-alalla, johon kuuluvat sekä kiinteä aines että virtaukselle avoin huokostila. Tästä nopeudesta käytetään myös nimitystä Darcyn nopeus.

Keskimääräinen virtausnopeus eli todellinen virtausnopeus tarkoittaa nestemassan virtausnopeutta huokostilassa, lähemmin tehokkaassa huokostilassa. Kysymyksessä on siis tehokkaan huokostilan läpi kulkevan virtauksen keskimääräinen nopeus.

Darcyn lain nimellä tunnetaan yhtälö:

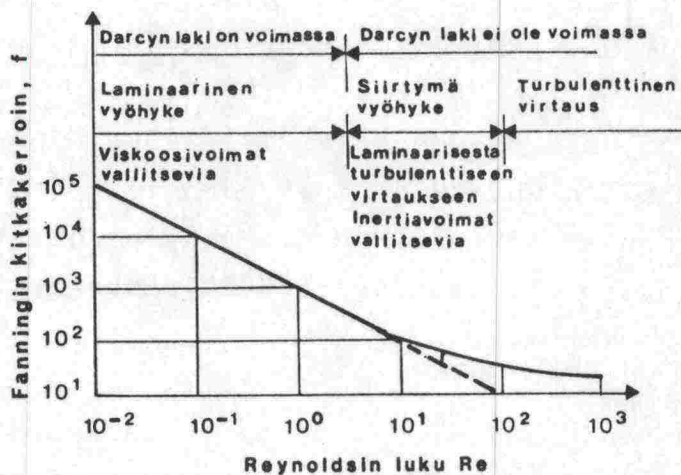
$$V = KI$$

$$V = \text{virtaamanopeus (m/d)}$$

$$K = \text{Darcyn verrannollisuuskerroin, jota kutsutaan vedenjohtavuudeksi (vedenläpäisevyyskerroin) (m/d)}$$

$$I = \text{hydraulinen gradientti eli pohjavedenpinnan kaltevuus (\Delta h / \Delta l)}.$$

Darcyn laki määrittelee virtaamanopeuden riippuvuuden hydraulisesta gradientista varsin yksinkertaisessa lineaarisessa muodossa. Yhtälö ei ole kaikissa olosuhteissa voimassa. Esim. virtausnopeuden kasvaessa niin suureksi, että virtaus ei enää ole laminaarista, kasvaa virtauksen sisäisen vastuksen arvo niin suureksi, että se muuttaa yhtälössä esitettyjä riippuvuussuhteita, kuva 2.



Kuva 2. Darcyn lain voimassaolo.

Myös virtaamanopeuden pienentyessä tietyn kynnyksigradientin alapuolelle alkavat molekyyllivoimat rajoittaa virtausta niin voimakkaasti, että Darcyn yhtälö lakkaa olemasta voimassa. Tämä tulee käytännössä merkitseväksi savi- ja silttimaalajeissa.

Käytännössä tulevat Darcyn lain rajoitukset kysymyseen vain eräissä kallioakvifereissa (akviferi on pohjavettä sisältävä ja läpäisevä muodostuma) ja alueilla, joissa hydraulinen gradientti on suuri, kuten joskus pintavesistöjen rannoilla, luonnon lähteiden ja vedenottokaivojen välittömässä ympäristössä.

Seuraavassa taulukossa esitetään eri maa- ja kivilajien huokoisuus-, vedenjohtavuus- ja vedenantoisuusarvoja.

Maa- tai kivilaji	Huokoisuus, %		Vedenjohtavuus, cm/d vaihtelualue						Vedenantoisuus		
	Primäärinen	Sekundaarinen (halkeamat yms. harvoin >10 %)	10 <sup>7</sup>	10 <sup>5</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>1</sup>	10 <sup>-1</sup>	10 <sup>-3</sup>	Hyvä	Keskimääräinen	Pieni
<i>Maalajit</i>											
Sora	30—40										
Karkea hiekka	30—40										
Hiekka-hieta	30—35										
Siltti	40—50	tilapäinen									
Savi, moreeni	45—55	halkeamia paikoittain									
<i>Sedimenttikivet</i>											
Kalkkikivi, dolomiitti	1—50	halkeamia									
Karkea-keskikarkea hiekkakivi	<20	halkeamia									
Hienorakeinen hiekkakivi	<10	halkeamia									
Saviliuske, hietakivi		halkeamia									
<i>Vulkaniitit</i>											
Basaltti		halkeamia									
Porfyriitti		halkeamia									
<i>Kiteiset kivilajit</i>											
Graniitti, gneissi		halkeamat ja rapautuminen									

Taulukko 1

Maa- ja kivilajien huokoisuus, vedenjohtavuus (eli vedenläpäisevyyskerroin) ja vedenantoisuus.

Määrättyyn hydrologiseen kokonaisuuteen, esim. akviferiin (vettäjohtava ja sisältävä muodostuma), jonakin aikavälinä tuleva vesimäärä eli tulovirtaama on yhtä suuri kuin tästä samana aikavälinä lähtevä vesimäärä lisättynä tai vähennettynä vesivaraston muutoksella.

Muuttuva virtaus on veden virtaustilanne, jossa virtaustekijät muuttuvat ajan mukana. Tällöin akviferin vesivarasto suurenee tai pienenee tarkasteltavana aikavälinä.



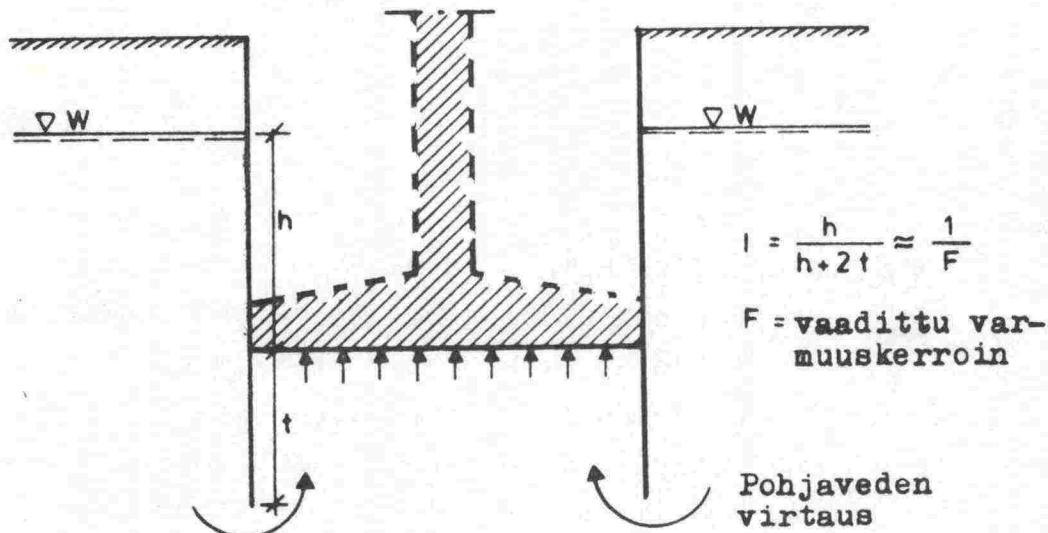
Useimmissa laskennallisissa menetelmissä oletetaan, että väliaine (akviferi) on vedenläpäisevyysominaisuuksiltaan kaikkiin suuntiin samanlainen. Suomen olosuhteissa tämä ei pidä paikkaansa. Tästä johtuen se, mitä laskennallisista menetelmistä erityisosassa esitetään, on käsitettävä yleistykseenä, joka varsin pienipiirteisissä yksiköissämme ei pidä täsmälleen paikkaansa. Esitettäviä laskentamenetelmiä voidaan kuitenkin käyttää edellyttäen, että ymmärretään tulosten luonne. Yleisimmin pohjaveden virtaus maaperässä tapahtuu yhdessä tasossa eli lähes vaakasuoraan, jolloin Suomen maaperän kerroksellisuuden vaikutus ei ole kovin voimakas. Sensijaan hydraulisten rajojen (pohjavesialtaan reuna, joka on joko vettäläpäisemätön tai avovesistö) merkitys tulee oloissamme korostetusti esille.

Pohjarakennustöiden osalta on pohjaveden alennustöiden yhteydessä otettava huomioon pohjaveden paineesta aiheutuva hydraulisen murtuman mahdollisuus, samoin maapohjan löyhtyminen ja eroosio sekä kaivuluiskien vakavuuden heikkeneminen.

Kitkamaalajeissa (siltti, hiekka, moreeni) esiintyy kaivannon pohjan hydraulinen murtumavaara silloin, kun ylöspäin suuntautuva veden virtauspaine ylittää yläpuolisen maamassan painon, jolloin raepaine pienenee nolnaan. Kuva 3 selvittää hydraulista murtumavaaraa. Hydrauliselle murtumalle on ominaista, että kaivannon pohja löyhtyy niin, että maa menettää kantavuutensa. Myös savimaassa voi tapahtua hydraulinen sortuma, jos kaivannon pohjan lähellä savikerroksen alapuolella on hyvin vettäjohtavia kerroksia.

ESIMERKKI HYDRAULISESTA SORTUMASTA  
TUETUSSA SILTAKAIVANNOSSA

9



Hydraulinen sortumavaara  
ylöspäin suuntautuvan  
virtauspaineen johdosta

Kuva 3. Hydraulinen sortumavaara ylöspäin suuntautuvan virtauspaineen johdosta.

Eroosio alkaa silloin, kun virtaavan veden nopeus ylittää kullekin maalajille ominaisen rajanopeuden, joka on pienin nopeus, minkä vaikutuksesta maa-aines lähtee liikkeelle. Eroosiota syntyy sekä pinta- että pohjavesivirtauksesta.

Pohjaveden muodostumisalue on alue, jolla sadevesi imeytyy huomattavassa määrin maanpinnan alapuolelle ja muodostuu pohjavedeksi. Pohjaveden valuma-alueella taas käsitetään aluetta, jolta pohjavesi virtaa tiettyyn pisteeseen esim. kaivoon. Muodostumisalueen ja valuma-alueen suuruuteen vaikuttavat sekä geologiset että topografiset seikat. Useimmissa tapauksissa voidaan valuma-alue käsittää yhteneväiseksi pinta-veden valuma-alueen kanssa. Poikkeuksen tästä muodostaa harjumaasto. Pohjaveden valuma-alueet Suomessa ovat yleensä verrattain pieniä. Normaali yhtenäinen valuma-alue on kooltaan noin neliökilometrin suuruisen ja se tuottaa pohjavettä maalajeista riippuen 50-800 m<sup>3</sup>/vrk. Harjumaastossa tilanne muuttuu siten, että suurin tunnettu yhtenäinen pohjavesialue Suomessa tuottaa noin 20000 m<sup>3</sup>/vrk.



## 3

## TUTKIMUKSET

## 3.1

## Etäistutkimukset

Ryhdyttäessä tutkimaan jonkin kohdealueen pohjavesi-olosuhteita, on tutkimukset aloitettava etäistutkimuksilla. Näitä ovat aikaisempien tutkimusten aineiston kokoaminen ja käsittely sekä ilmakuva- ja karttatulkinnat. Aikaisemmin tehtyjen tutkimusten tarkalla keräämisellä ja käsittelyllä saavutetaan huomattavia säästöjä tutkimusohjelman laatimisen yhteydessä. Lisäksi saadaan asiasta hyvä ennakkokäsitys, jonka perusteella työohjelma voidaan laatia. Sen laatiminen edistää tutkimuksen toteuttamista, mutta siitä ei saa muodostaa liian vahvaa vaikuttajaa, joka estäisi joustavan, tilanteenmukaisen työskentelyn.

Aikaisemmin tehtyjen aluetta koskevien tutkimusten hankkimispaikkana tulevat kysymykseen tie- ja vesirakennuslaitoksen ohella myös asianomainen kunta, geologinen tutkimuslaitos, vesihallitus/vesipiiri, asianomainen seutukaavaliitto, rautatiehallitus/ratapiiri ja mahdollisesti alueella oleva vesilaitos.

Tutkimusta varten hankitaan käyttöön aluetta käsittelevä kartta-aineisto. Tutkimusta hyödyttävää kartta-aineistoa ovat mm:

- Peruskartat sekä sen suurennokset
- Kaavakartat
- Geologiset kartat ja julkaisut
- Agrogeologiset kartat
- Teiden ja rautateiden sekä vastaavien laajalle alueelle ulottuvien rakenteiden geologis-geotekniset tutkimukset ja kartat.

## 3.2

## Maaperätutkimukset

Maaperätutkimuksissa noudatetaan geoteknisen yhdistyksen kairausoppaiden ohjeita. Niiltä osin joilta mainituissa oppaissa ei anneta ohjeita noudatetaan

jo osittain vanhentunutta julkaisua TVH 732660 "Maarakennusalan tutkimus- ja suunnitteluohjeita, osa I; Maaperä ja sen tutkimusmenetelmät", luku 4.6, pohjavesitutkimukset.

Maaperätutkimukset aloitetaan aina maastotarkastelulla. Tämän yhteydessä tarkistetaan jo aikaisemmassa vaiheessa tehty alustava tutkimusohjelma. Maastotarkastelussa on syytä paneutua erityisesti geologisiin seikkoihin, joiden vaikutus pohjaveden käyttäytymiseen on ratkaiseva. Tutkimuksen myöhäisemmissä vaiheissa on välttämätöntä, että tutkijalla ja aineiston käsitelijällä on henkilökohtainen käsitys maasto-olosuhteista.

Varsinaiset maaperätutkimukset riippuvat maaston geologisesta rakenteesta. Moreeni- ja kallioalueet, sora- ja hiekka-alueet sekä siltti-, savi- ja turve-alueet edellyttävät kukin erilaista tutkimusohjelmaa. Maaston rakenteen yleispiirteet selviävät maastotarkastelun yhteydessä, jolloin tutkimusohjelma voidaan tämentää vastaamaan vallitsevia olosuhteita.

### 3.3

#### Pohjavesihavainnot

Varsinaisena pohjavettä koskevana maastotutkimuksena selvitetään kohdealueen maaperän vedenläpäisevyydet ja pohjavedenpinnan painetason asema. Tähän on käytettävissä useita eri menetelmiä. Menetelmien valinta riippuu kohteesta. Vedenläpäisevyydestä savikoilla saadaan riittävää tietoa paino- ja siipikairauksin ja tavanomaisin näytetutkimuksin. Siltti-, moreeni- ja hienohiekka-alueilla saavutetaan useimmiten luotettava tulos vedenläpäisevyyskokeen avulla, joka voidaan tehdä esim. TVH 732660 osa I kohta 4.73 mukaisena kenttäkokeena. Luotettavin kuva saadaan



koepumppauksella. Koepumppaus olisi tehtävä aina, milloin vedenläpäisevyydet alueen maakerroksissa ovat kohtalaiset tai hyvät. Tällaisia alueita ovat hiekka- ja soravaltaiset alueet ja eräät moreenikot.

### 3.4

#### Kaivohavainnot

Maastotarkastelun yhteydessä laaditaan myös luettelo alueella olevista kaivoista, lähteistä sekä muista pohjavesikohteista. Kaivoista laaditaan kaivokortit tie- ja vesirakennuslaitoksen yleisten ohjeiden mukaisesti. Kaivoista tehtävien havaintojen tarkkuuteen ja täydellisyyteen on kiinnitettävä erityistä huomiota, koska niitä tarvitaan mahdollisten oikeudellisten käsittelyiden yhteydessä.

Kaivokortteihin tehtävien pohjavesihavaintojen tarkoituksena on palvella sekä oikeudellisia että teknisiä tarkoituksia. Molempia tarkoituksia varten on havaintojen ja mittauksen oltava luotettavia ja täsmällisiä. Koska kaivosta tapahtuva vedenotto vaikuttaa merkittävästi saavutettavaan mittaustulokseen, on mittauksen ajankohdalla tärkeä merkitys. Suositeltavinta olisi ottaa korkeushavainto jokaisesta alueen kaivosta samana vuorokaudenaikana, mutta tämä ei käytännössä liene mahdollista. Siksi havaintoa tehdessä ja mittausta suoritettaessa on myöskin kellon-aika merkittävä muistiin. Edullisin mittauksen ajankohta on aamulla ennen ensimmäistä vedenottoa. Tämä havainto kuvastaa lähimmin ns. lepotilan vedenkorkeushavaintoa.

Kaivoista tehtävät pohjavedenpinnan korkeushavainnot on tehtävä samasta kaivosta aina samaan vuorokaudenaikaan. Näin vältetään normaalikäytön aiheuttamat virheet. Tutkimuksessa ei yleensä riitä ainoastaan yksi havainto antamaan riittävää varmuutta pohjavedenpinnan korkeudesta tietyssä kaivossa.



Mittauksen toistoa ja myöhempää käsittelyä varten on kaivot numeroitava selvästi, sekä pohjavedenpinnan etäisyyden mittapisteenä (esim. kaivon kannesta) käytetty mittauskohta merkittävä selvästi sekä kaivoon että kaivokorttiin. On huomattava, ettei tästä merkinnästä saa aiheutua haittaa tai vahinkoa kaivon omistajalle. Haitaksi on luettava myös esteettinen haitta.

Kaivokortin täytön yhteydessä joudutaan kaivon omistajalta kyselemään kaivon käyttöön liittyviä tietoja. Näiden kirjaamisessa tulee olla tarkkana, että sekä kysymys että vastaus on ymmärretty oikein ja samalla tavalla ja että tieto on mahdollisimman luotettava.

Kuvassa 4 on esitetty TVH:n kaivohavaintokortti.

Valmisteltaessa pohjavedenpinnan alentamista rakennuskohteessa on pidettävä tarkasti huolta siitä, että ennen mihinkään alentamis- tai koepumppaustoimenpiteisiin ryhtymistä on kaikista ympäristön kaivoista olemassa vedenkorkeushavainto. Kaivo- ja lähdemittauksissa on pohjavedenpinnan korkeus mitattava yhden senttimetrin tarkkuudella.

### 3.5

#### Pohjaveden koepumppaus ja vedenläpäisevyyskokeet

Koepumppausta on harkittava aina silloin, kun on syytä epäillä suuria vaikutuksia ympäristöön tai ympäristössä on kohteita, jotka ovat herkkiä vaurioitumaan pohjavedenpinnan muuttumisen aiheuttamien kuormien muutosten takia.

Valmisteltaessa pohjavedenpinnan alentamista rakennuskohteessa on pidettävä tarkasti huolta siitä, että ennen mihinkään alentamis- tai koepumppaustoimenpiteisiin ryhtymistä on kaikista ympäristön kaivoista olemassa vedenkorkeushavainto.

# Selostus pohjavesikaivon paikallisista olosuhteista

14

Tutkimustyön tilaaja ..... Työ n:o .....

Kaivon omistaja ..... Kaivon n:o .....

Kaivon omistajan osoite .....

Tilan nimi ..... R N:o .....

Kylä ..... Kunta .....

Tietojen antaja .....

Tutkimusaika ..... Havaintojen tekijä .....

Näytteenottoaika ..... 19..... klo ..... Näytteenottosyvyydet ..... m vedenpinnasta

Vedenottoaikan sijainti ..... m mereen, järveen, jokeen, ..... m karjarakennuksiin, lantalaan,  
käymälään, ..... m likaviemäriin, teollisuuslaitokseen, tms. ....

Kaivon tyyppi ..... kunto .....

Sisäläpimitta ..... m, kannen korkeus ..... m, maanpinnan korkeus ..... m, vedenpinnan  
korkeus ..... m, pohjan korkeus ..... m, maalajikerrokset .....

.....

Vesinäytettä otettaessa pumpattu vesimäärä ..... l/min, pumppausaika ..... h, lämpötila ..... °C

Veden haju ....., sameus ....., maku .....

Kaivo valmistui v. ...., syvennettiin v. ...., kunnostettiin v. ....

Veden käyttötarkoitus ennen ja nyt .....

.....

Vedenkäyttö ..... m<sup>3</sup>/vrk., henkilöluku ....., eläinyks. ...., kylpyhuoneita ..... kpl, muu  
käyttö ..... m<sup>3</sup>/vrk. Veden laatu ennen ja nyt .....

Milloin esiintyvät veden virheellisyydet .....

ajottain vai vakituisesti .....

Vedenpinnan vaihtelut vuodenaikojen, sateiden tai läheisen vesistön mukaan .....

.....

Pääseekö pintavesi kaivoon ja miten .....

.....

Veden riittävyys .....

Pumppulaji ....., nostokorkeus ..... m, vesimäärä ..... l/min, moottorin suuruus ..... kW

Painesäiliön tilav. .... l, työpaine ..... ik, kytkentä- ja katkaisup. .... ik. Yläsäiliön tilav. .... m<sup>3</sup> ja korkeusero .....

Laitteiden hankinta-aika .....

Pohjaveden oton vaikutus .....

.....

Toimenpiteet .....

.....

Huom. (vanhat vesianalyysit, yms.) .....

.....

..... pnä ..... kuuta 19 .....

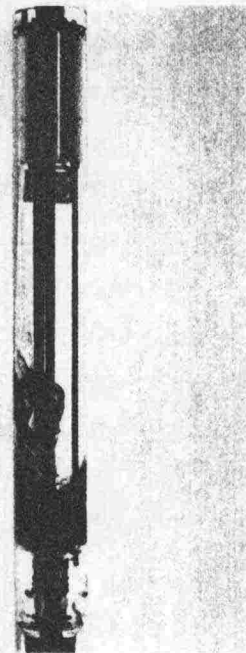
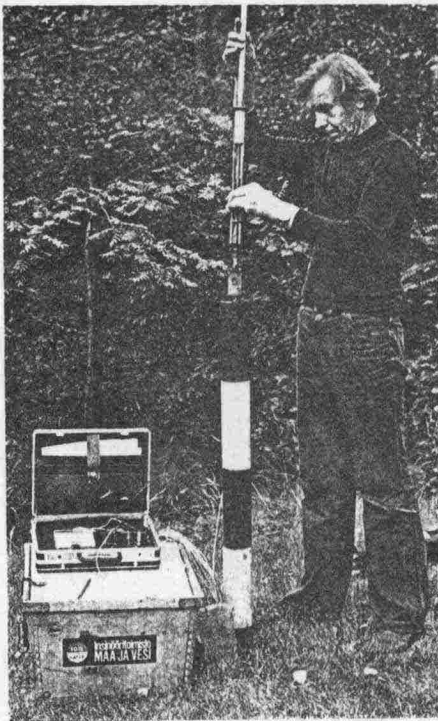


Koepumppauksesta saatavien tietojen perusteella voidaan selvittää mm. maaperän vedenläpäisevyyttä, pohjaveden alentamisen toteutusmahdollisuuksia ja pumppausvesimääriä. Koepumppausta varten on asennettava myös havaintoputkia. Mikäli koepumppaus ei ole mahdollinen tai sen tarve arvioidaan vähäiseksi, voidaan maaperän vedenläpäisevyydestä ja sitä kautta pohjavedenpinnan alentamisen tai alenemisen mahdollisista vaikutuksista saada selvyyttä tekemällä paikalla vedenläpäisevyyskokeita. Ne voidaan tehdä esim. jo aikaisemmin mainitun julkaisun TVH 732660 osa I kohdassa 4.73 esitetyllä tavalla.

Varsinkin kerroksellisissa, yleisesti ottaen huonosti vettäläpäisevissä olosuhteissa saadaan maaperän vedenläpäisevyydestä selvä ja kerroksittainen kuva käyttämällä BAT-menetelmää. Menetelmässä työnnetään vakionopeudella huokoskärjellä varustettua kärkeä maaperään samanaikaisesti kun huokoskärjen sisälle kehitetään ylipaine syöttämällä vettä vakionopeudella. Mittaamalla kerroksittain syntynyt ylipaine saadaan käsitys maaperän vedenläpäisevyydestä suhteellisena arvona. Laite tulostaa ylipaineen jatkuvana käyränä syvyyden funktiona.

Toinen menetelmä samaa laitetta käyttäen on keskeyttää kärjen työntö sekä veden syöttö ja mitata synnytetyn ylipaineen purkautumisnopeus. Tulkitsemalla paineenpurkautumiskäyrä saadaan selvät suhteelliset erot eri kerrosten vedenläpäisevyyksille.

Vettäjohtavissa olosuhteissa, joissa toimitaan siltti-, hienohiekka-, hiekka-, sora- tai moreenimuodostumissa on hyvä tapa selvittää maaperän vedenläpäisevyyttä ilman koepumppausta virtausnopeusmittarin avulla. Kuvassa 5 on käytössä merkkiaineen laimenemisnopeuteen perustuva virtausnopeuden mittausta.



Kuva 5. Virtausnopeusmittari - permeametri käytössä.

Pumppauskokeessa on pidettävä mielessä se, että sillä tässä yhteydessä tutkitaan kahta asiaa: alueellista jatkuvaa antoisuutta ja pistekohtaista antoisuutta. Useissa tapauksissa on myös merkittävää pohjaveden alentamisessa tarvittava alkupumppauksen eli varastoituneen veden poispumppaamisen suuruus. Yllä esitetty aiheuttaa tiettyjä vaatimuksia koepumppaukselle. Pumppausjärjestelyjen tulee olla sellaisia, että ne soveltuvat ns. lyhyen koepumppauksen tekemiseen, joka johtaa matemaattis-hydraulisten laskelmien käyttöön. Pumppausajan tulee olla 2-4 viikkoa tapauksesta riippuen.

Koepumppauspaikka tulee valita siten, että se parhaalla mahdollisella tavalla vastaa tutkittavaa hanketta. Tavallisesti silloin joudutaan koepumppauspaikka sijoittamaan siihen kohtaan, mihin todennäköisimmin



alennuspumppaus tullaan sijoittamaan. Tällöin ei kuitenkaan työn toteuttamisteknillisille seikoille saa antaa ylivaltaa valinnassa. Tärkeätä on pitää huolta siitä, että varsinainen alentaminen pystytään tekemään mahdollisimman pienin kustannuksin.

Vedenläpäisevyyskokeet tulee toteuttaa johdonmukaisesti sekä useissa eri pisteissä ja korkeustasossa alueellisen tiedon saamiseksi. Useimmin käytettävän vaihtuvapainemenetelmän käytössä on pidettävä huoli siitä, että havaintoputki asennetaan aina samalla tavalla ja että sen huuhtelussa noudatetaan mitä suurinta varovaisuutta putken ulkopuolisten huuhteluvaurioiden välttämiseksi.

Erilaiset maasto-olosuhteet edellyttävät erilaisia tutkimusohjelmia. Tutkimusohjelman laatimisen johtavana periaatteena tulee olla odotettavissa olevien vaikutusten selvittäminen. Tästä johtuen on tilannetta harkittava erityisesti mahdollisten vahingonkäräjöiden kannalta.

### 3.5.1

#### Pumppausjärjestelyt

Koepumppauksessa käytettävän pumpun apulaitteineen tulee olla sellaiset, että niiden avulla voidaan taata pumppausmäärän vakiona pysyminen. Käytännössä tämä toteutetaan siten, että pumppu valitaan riittävän korkeanostoiseksi niin, että säätöventtiilillä veden tuloa kuristamalla voidaan pumppausmäärää säädellä. Samoin on vesimäärän mittaukseen varatut laitteet valittava siten, että niillä voidaan mitata vesimäärä sekä jatkuvasti että määräajoin tarkemman arvon selvittämiseksi. Vesimäärän mittauksessa on pumppauksen suuruudesta riippuen käytettävä astiaa, mittapatoa tai summaavaa vesimittaria. Säätöä helpottaa myös näytävä vesimittari.



Riittävän alenematiedon varmistamiseksi on koepump-  
 pauspaikalle asennettava vähintään kahdeksan havainto-  
 putkea kahdeksi toisiaan vastaan kohtisuoraksi linjak-  
 si. Toinen linjoista sijoitetaan maaston suuntai-  
 sesti laakson pituus- ja toinen poikkisuuntaan.  
 Putkien etäisyydet koepumppauspisteestä määritetään  
 tapauskohtaisesti, että oletettu vaikutus kauimmai-  
 siin havaintoputkiin on vähäinen, mutta kuitenkin  
 vielä mitattavissa.

### 3.5.2

#### Koepumppaushavainnot

Koepumppauksen yhteydessä on mittatarkkuus pyrittävä  
 saamaan yhden millimetrin suuruiseksi. Mikäli tämä  
 ei onnistu, on pyrittävä johdonmukaisesti viiden  
 millimetrin tarkkuuteen. Koepumppauksen yhteydessä  
 on myös erittäin tarkasti selvitettävä mittauksen  
 ajankohta. Koepumppauksen alkamisesta lukien kymmenen  
 ensimmäisen minuutin aikana on mittaukset tehtävä  
 kymmenen sekunnin tarkkuudella ja sen jälkeen yhden  
 minuutin tarkkuudella. Lyhytaikaisessa koepumppauk-  
 sessa tehdään mittaukset havaintoputkista, jotka  
 sijaitsevat lähempänä kuin sata metriä koepumppaus-  
 paikasta seuraavasti:

#### Havaintoväli pumppauspaikalla

Aika pumppauksen alusta	Havaintoväli
0 - 5 min	0,5 min
5 - 60 min	5 min
60 - 120 min	20 min
120 - pumppauksen loppuun	60 min

### Havaintoväli havaintoputkissa

Aika pumppauksen alusta	Havaintoväli
0 - 2 min	n. 10 sek
2 - 5 min	30 sek
5 - 15 min	1 min
15 - 50 min	5 min
50 - 100 min	10 min
100 min - 5 h	30 min
5 h - 48 h	60 min
48 h - 6 d	3 x päivässä
6 d - pumppauksen loppuun	1 x päivässä

Pumppausmäärä tulee mitata ensimmäisen vuorokauden ajan vähintään kerran tunnissa ja tarpeen mukaan säädöt tulee tehdä välittömästi. Pyrkimyksenä on pitää pumppausmäärä vakiona. Koepumppauksen alussa on luonnollisesti pumppauksen määrää tarkkailtava viiden minuutin välein noin yhden tunnin ajan. Kun pumppaus on vakiintunut, voidaan pumppausmäärän tarkistus tehdä kerran vuorokaudessa.

Alueella olevien lähteiden virtaaman mittauksessa käytetään yleisimmin mittapatoa. Mittapadon paikalleen asentamisessa noudatetaan julkaisun TVH 732660 osan I kohdan 4.6 ohjeita. On painotettava tehtävien mittausten tärkeyttä ja sitä, että yksi mittaus harvoin kertoo todellisesta tilanteesta, sillä varsinkin moreenialueiden lähteissä vedenpurkautuminen vaihtelee suuresti sääolojen ja vuodenaikojen mukaan. Tästä syystä on erityisen tarkasti huolehdittava siitä, että mittauksen päivämäärä esitetään kaikissa asiakirjoissa.



Alueella virtaavien purojen, siellä olevien soiden ym. erityisen vetisten kohteiden merkitseminen sekä niiden vesitietojen kirjaaminen vaikuttaa oleellisesti myöhempään suunnitteluun. Esim. suonpinnan korkeus ja siellä esiintyvien vapaiden vesipintojen vertaaminen ennen pohjavedenpinnan alentamista sekä sen aikana ja sen jälkeen on erityisen tärkeitä.

Koepumppauksen havainnot kirjataan taulukon muotoon. Taulukko voi olla monen muotoinen, mutta siinä tulee aina esittää seuraavat tiedot:

- pumppauspaikka
- pumppauksen ajankohta
- havaintopisteen tunnuksot
- havaintojen tekijä
- tehtävä, johon koepumppaus liittyy
- paikka
- aloituspäivä
- alkuperäinen vedenkorkeus
- kiintopiste ja käytetty korkeusjärjestelmä
- käytettyjen lyhennysten selvitykset
- havainnoitsijan huomautukset.

Varsinaisessa taulukossa tulee esittää:

- päivämäärä ja kellonaika
- etäisyys mittapistestä pohjavedenpintaan
- alenema
- pumppausteho.

Mainitut tiedot tulee esittää jokaisesta havaintoputkesta. Seuraavassa esimerkki koepumppauspöytäkirjasta:





## 3.7

## Tulosten käsittely, tulkinta ja esittäminen

Tulosten alkukäsittelyn johtavana periaatteena on tietojen saaminen yhteismitallisiksi, selviksi ja analysointiin tarkoituksenmukaisiksi. On vältettävä liikoja pyöristyksiä sekä mittaustulosten vääristämistä "eihän tulos tuo voi olla"-periaatteen mukaisesti. Tässä vaiheessa on hyvä laatia kenttätutkimusraportti. Sen tulee sisältää kaikki oleelliset tapahtumat tutkimuksen aikana. Tällaisia ovat esim. rankat sateet, sähkökatkokset, mittaaajan vaihtuminen, mittavälineiden vaihdokset jne. Mikäli tutkimuksen tekijät ja valvoja ovat havainneet jotain aivan erityistä esim. pohjavedenpinnan käyttäytymisessä, aiheutuneissa vahingoissa, mahdollista ilkivaltaa jne., on näistä tehtävä merkintä kenttätutkimusraporttiin. Käsitelty kenttätutkimusaineisto on säilytettävä vähintään koko hankkeen toteuttamisen ajan. Tärkeimpiä ovat alkuperäiset kenttämittaukset ja laskelmat.

Tulostuksessa pyritään selkeyteen ja yksiselitteisyyteen. On tärkeää, että esitetään:

- lähtöaineisto
- tutkimusmenetelmä
- tulkintamenetelmä
- tulokset
- arvio tuloksista.

Pohjavesitutkimusten tulosten tulokinnassa käytetään avuksi matemaattis-hydraulisia laskelmia. On kuitenkin muistettava, että laskennan tulos ei yksin riitä selvittämään tilannetta, vaan lopullisessa arviossa on aina otettava huomioon vallitsevat geologiset ja hydrogeologiset olosuhteet, kuten maaston suuntautuneisuus, kerrosten epätasaisuus ja ulottuvuus.



Matemaattis-hydrauliset laskelmat aleneman suuruuden, vesimäärän ja vaikutussäteen laskemiseksi esitetään myöhemmin erityisosan kohdassa 7.2.

4

## GEOTEKNISET NÄKÖKOHDAT

### 4.1

#### Moreeni- ja kallioalueet

Kun tieleikkaus tulee tehtäväksi ympäröiviä alueita, esim. tasankosavikkoja ylempänä olevalle moreeni-alueelle, ei vesiongelmia yleensä ole odotettavissa.

Alavammilla moreenialueilla leikkauksen ulottuessa pohjavedenpinnan alapuolelle voivat leikkausluiskat syöpyä/sortua pinta- ja pohjavesivirtauksen aiheuttaman eroosion johdosta. Myös hydraulinen sortuma-vaara on otettava huomioon hienorakeisissa moreeni-maalajeissa. Vahinkojen estämiseksi on suunnittelu-vaiheessa selvitettävä kairauksin ja näytteenotolla maan raekokosuhteet, kerroksellisuus, tiiviys ja vedenläpäisevyys. Myös maapohjan kivisyyden arvioiminen on tärkeää selvitettäessä pohjaveden alentamismahdollisuuksia (esim. alennusputkiston asentaminen). Pohjaveden työnaikainen alentaminen imuputkistoa käyttäen saattaa tulla kysymykseen karkearakeisissa moreeneissa.

Moreenialueilla pohjavedenpinnan aleneminen ei yleensä aiheuta vaurioita lähialueen rakennuksille. Mahdolliset haittavaikutukset on kuitenkin tarkistettava sillä alueella, missä pohjavedenpinnan alenemista on odotettavissa.



## 4.2

## Sora- ja hiekka-alueet

Kaivannon ulottuessa pohjavedenpinnan alapuolelle voi pohjavedenpinta alentua useiden kilometrien etäisyydelle työkohteesta. Myös esim. siltatyön johdosta tapahtuvan työnaikaisen pohjavedenpinnan alentamisen vaikutukset voivat olla huomattavat ja ulottua laajalle alueelle. Tästä syystä pohjavedenpinnan tarkkailu on tehtävä riittävän laajalla alueella ja aloitettava mahdollisimman aikaisin ennen pohjaveden alennustyötä. Pohjavedenpinnan korkeusvaihteluita tulisi seurata vähintään vuoden ajan ennen kaivutöitä.

Mikäli ao. työkohteessa tulee kysymykseen työn- aikainen pohjavedenpinnan alentaminen, on tätä varten selvitettävä maaperän kerrosjärjestys, raekoot, vedenläpäisevyysarvot ja kivisyys. Tapauksesta riippuen on tehtävä koepumppaus. Sora-alueella tulee erityisesti selvittää, aiheuttaako pohjaveden aleneminen haittoja lähialueen kaivoille tai vedenottamoille.

## 4.3

## Savi- ja silttialueet

Pehmeiköillä on pohjavedenpinnan alenemisen suurin haittavaikutus painumien syntymisessä. Silttimaille painumat tapahtuvat nopeasti, mutta ovat suuruudeltaan vähäisempiä kuin savimaille, missä painuminen on hidasta. Pohjavedenpinnan aleneminen vaikuttaa myös leikkausluiskien stabiliteettiin, mikä on selvitettävä tarkemmin laskelmin.

Pohjavedenpinnan alenemisen vaikutusalue on määritettävä teoreettisten laskentojen tai koepumppauksen perusteella mikäli maassa on sellaisia karkeampi-

rakeisia välikerroksia, että koepumppaus on mahdollista. Luotettavin tulos saadaan koepumppauksen havaintojen perusteella. Lähialueen rakenteiden inventointi tehdään kohdassa 4.5 esitetyn mukaisesti vähintään sillä alueella, mihin pohjavedenpinnan alenemisen vaikutusalueen arvioidaan ulottuvan. Yleensä kartoitus tulisi ulottua vähintään 100...300 m:n etäisyyteen tieleikkauskohteesta.

Jos pohjavedenpinnan aleneminen voi aiheuttaa painumahaittoja, on painumien suuruus arvioitava tarkemmin laskelmin. Tämä edellyttää yleensä häiriintymättömien maanäytteiden ottamista ja geoteknisessä maalaboratoriossa tehtävää painumaominaisuuksien selvittämistä (ödometrikokeet).

Jos kysymykseen tulee pohjavedenpinnan työnaikainen alentaminen, on selvitettävä vettäjohtavien maakerrosten asema ja vedenläpäisevyys. Savikoilla työnaikainen alentaminen onnistuu vain, mikäli kohteessa on siltti- tai hiekkakerroksia.

#### 4.4

##### Turvealueet

Maaston geologinen rakenne vaikuttaa olennaisesti pohjavesiratkaisuihin. Jos kysymyksessä on ohuturpeinen (turvekerroksen paksuus alle 2 m) pinta-alaltaan suppea suo, ovat suosta aiheutuvat tieleikkauksen pohjavesihaitat tien rakentamisen kannalta yleensä vähäiset.

Jos sensijaan kysymyksessä on syvä suo, on leikkauksluiskat usein tuettava reunapatoja tai muuta vastaavaa ratkaisua käyttäen. Pato voidaan tehdä vettäläpäisemättömäksi mikäli pohjavedenpinnan alenemishaitat suoalueella mautoin tulisivat olemaan huomattavat. Eräissä tapauksissa voidaan koko suoalue kuivattaa tieleikkauksella, jos suo on rajattu eikä pohjavedenpinnan alenemisesta aiheudu ympäristöhaittoja.



Tutkimuksilla selvitetään turvekerroksen paksuus, maatumisaste, lujuus ym. geotekniset ominaisuudet ja patomateriaalin saantimahdollisuudet.

#### 4.5

##### Lähialueiden rakenteiden inventointi

##### 4.5.1

Tutkimus- ja suunnitteluvaiheen tehtävät

"Riskikohteissa" tulee mahdollisten vaurioiden varalta inventoida rakennuskohteen lähiympäristön rakennukset ja muut rakenteet. Tehtävien selvitysten tarve ja inventoitavan alueen laajuus on määritettävä tapauskohtaisesti erikseen. Erityisen tärkeää on rakenteiden inventointi savialueilla. Tällöin tulee ottaa huomioon myös ne tapaukset, joissa varsinainen tieleikkaus ei ole pehmeikköalueella, mutta pohjavedenpinta laskee kuitenkin laajalla alueella tieleikkauksen ympäristössä.

Rakennuksista tulee selvittää perustamistavat, alimmat lattiatasot ja alapohjan rakenteet, pihtäytösten, lattian alustäytösten yms. täytösten suuruus ja putkijohtorakenteet perustamistapoineen. Myös salaojitustasot ja pumppausvesimäärät on selvitettävä.

Edellä esitetyt selvitykset tehdään tutkimus- ja suunnitteluvaiheessa. Tällöin tieleikkaus- ja pohjavesisuunnitelmat voidaan laatia ottaen huomioon leikkauskohteen ympäristön työlle asettamat vaatimukset ja rajoitukset. Yleensä rakenteiden inventointi tulisi ulottaa noin 100...300 m:n etäisyyteen tieleikkauksesta.



## 4.5.2

## Rakennusvaiheen tehtävät (katselmukset)

Ennen kaivutöiden aloittamista on "riskikohteissa" tieleikkauksen lähiympäristön rakennusten ja rakenteiden kunto selvitettävä katselmuksella (alkukatselmus). Katselmuksen suorittavat rakennuksen tai rakenteen omistaja ja työn suorittaja yhteistoiminnassa. Puolueettoman asiantuntijan kutsuminen katselmukseen on suositeltavaa (esim. rakennustarkastaja). Katselmuksesta on laadittava pöytäkirja, jonka läsnäolijat allekirjoittavat.

Katselmuspöytäkirjaan kartoitetaan ja merkitään rakennusten ja rakenteiden halkeamat ja niiden ominaisuudet. Tarvittaessa vaaitaan julkisivujen vaakasuorat linjat (ikkunalinja, sokkelilinja yms.) ja suoritetaan seinien ja välipohjien kaltevuusmittaukset sekä valokuvataan kohteet.

Työkohteen valmistuttua pidetään loppukatselmus, jossa todetaan mahdolliset leikkaustyöstä aiheutuneet vauriot. Loppukatselmus on syytä järjestää aina silloin, kun alkukatselmus on pidetty. Katselmus on tarpeellinen sekä rakennustyön suorittajan että rakennuksen/rakenteen omistajan kannalta.

## 4.6

## Tarkkailumittaukset

Mittausten tarve ja laajuus määritetään tapauskohtaisesti suunnitteluvaiheessa. Yleensä ne ovat tarpeen pehmeikköalueilla. Kysymykseen tulevat pohjavedenpinnan korkeushavainnot, huokosvedenpainemittaukset, painuma- ja sivusiirtymämittaukset, värinämittaukset sekä mahdolliset pumppausvesimäärien mittaukset.

Luotettavan kuvan saamiseksi ensimmäiset mittaukset tulee tehdä ennen kaivutyön aloittamista. Mittauksia tehdään kaivutyön aikana ja tarvittaessa työkohteen valmistumisen jälkeen ennalta laaditun mittaus-suunnitelman mukaisesti. Tarkkailumittauspisteitä tulisi olla yleensä vähintään 3 kpl/mittauskohde.

"Riskikohteissa" on pohjavedenpinnan korkeutta seurattava koko rakennustyön ajan. Mittauksia jatketaan tarvittaessa työn päätyttyä.

#### 4.7

Pysyvästä pohjavedenpinnan alenemisesta aiheutuvien haittojen arviointi ja estäminen

##### 4.7.1

##### Rakenteet

Siltti- ja erikoisesti savialueilla pohjavedenpinnan aleneminen aiheuttaa maanpinnan painumista, josta voi olla seurauksena rakennusten, putkijohtojen yms. rakenteiden painuminen ja vaurioituminen. Erityisen haitallisia ovat pehmeikön syvyysvaihtelut, mistä aiheutuu epätasaista painumista.

Painumien suuruuden arvioimiseksi on määritettävä pohjavedenpinnan alenemisen suuruus ja maapohjan kuormitustilanne ennen pohjavedenpinnan alentumista ja sen jälkeen koepumppauksen ja/tai teoreettisten laskentamenetelmien perusteella. Jos pehmeikön syvyys vaihtelee rakennuksen alueella, on painumalaskenta tehtävä syvyysvaihtelujen mukaan erikseen, jolloin saadaan selville painumaerot.

Pohjarakennusohjeiden 1979 (RIL 121) mukaan pohjarakennustyöhön, joka alentaa pohjavedenpintaa tai voi aiheuttaa alentumisen, ei saa ryhtyä ilman pohjaveden hallinnan perusteellista suunnittelemista. Ennen



pohjarakennustyön aloittamista on sovittava riskin kohteeksi joutuvien kanssa toimenpiteistä vahingon ennaltaehkäisemiseksi tai korvausmenettelystä.

Pohjavedenpinnan alenemisen vaikutusalue on arvioitava suunnitteluvaiheessa. Tämän jälkeen tehdään rakennusten ym. rakenteiden painumalaskennat.

Puupaaluille perustettujen rakennusten perustukset voivat vaurioitua pitkäaikaisen pohjavedenpinnan alenemisen seurauksena. Paalujen lahoaminen voidaan estää syöttämällä tieleikkauksesta pumpattavaa vettä vaurioalttiiden rakenteiden alueelle (tämä tulee kysymykseen vain taajama-alueilla). Myös teräs-betonipaalutukset voivat vaurioitua maan painumien aiheuttaman lisäkuormituksen johdosta. Myös paalujen katkeamista on todettu. Samoin pohjavedenpinnan aleneminen aiheuttaa painumia ja painumaeroja liikenneväylillä. Väyliä alla saattaa olla paalutettuja putkijohtoja ja rumpuja, jotka aiheuttavat painumaeroja maan painuessa.

Viettoviemäreissä kaltevuussuhteet voivat muuttua, samoin avo-ojien ja asfaltoitujen alueiden viettosuunnat. Rakennuksiin liittyvät viemäri- ja vesi-johtoputket voivat vaurioitua saumakohdista, jos ympäröivä maa painuu enemmän kuin noin 15 cm.

Leikkaustöiden yhteydessä kevennetään luiskan alla olevan pohjamaan kuormitusta. Tämän vuoksi leikkauslujuus ja vakavuus alenevat. Pohjavedenpinnan alentuessa liukupinnassa vallitseva huokosveden paine pienenee, mikä taas lisää vakavuutta. Kokonaisvaikutus on selvitettävä tarkemmin laskelmin. Luiskavakavuuteen on kiinnitettävä erityisesti huomiota kaivannon ulottuessa pohjavedenpinnan alapuolelle ja maaperän ollessa savea tai savista silttiä.

## 4.7.2

## Kasvillisuus

Pohjaveden aleneminen voi vaikuttaa myös pintakasvillisuuteen. Erityisesti kalliokasvillisuus on erittäin arkaa pohjaveden muutoksille. Jos pohjavedenpinta on jo alkujaan syvemmällä kuin 2,5 m maanpinnasta, ei pohjavedenpinnan aleneminen enää vaikuta merkittävästi pintakasvillisuuteen.

Pohjaveden alentamisesta aiheutuvat puuston vauriot riippuvat pohjaveden alkuperäisestä syvyydestä, maalajista ja kasvustosta.

Puuston menestyminen rakentamisen jälkeen on riippuvainen siitä, miten suuria muutokset vedensaannissa ovat.

- Pohjaveden alentamisesta kasvillisuudelle aiheutuvat vauriot ovat voimakkaimmat, jos pohjavedenpinnan alentaminen tapahtuu nopeana ja voimakkaana, kuivana vuodenaikana kasvillisuuden voimakkaan kasvukauden aikana.
- Kosteana vuodenaikana tai kasvun lepokautena on kasvillisuudella aikaa sopeutua muutoksiin ja kehittää uutta juuristoa kosteamman maastokohdan suuntaan. Hitaasti tapahtuva pohjavedenpinnan alentaminen antaa kasvillisuudelle aikaa sopeutua muutoksiin.
- Myös pintavesien kulkusuunnan muuttaminen ja pintavesien nopea poisjohtaminen aiheuttaa kuivumista tai päinvastoin tukehtumista.

Puuston säilymisedellytykset pohjaveden laskiessa

- Pohjaveden lasku ei vaikuta puuston menestymiseen, jos puut ovat käyttäneet sateena suoraan tulevaa vettä, eivätkä maan pinta-kerrokset muutu. Tällöin vesiolosuhteista riippuvat säilymisennusteet ovat hyvät (karkeat maat, maastokohoumat, lakialueet).
- Pohjaveden laskemista kestävät suhteellisen hyvin puut, joilla on normaalisti matala juuristo (kuusi, vaahtera ja koivu). Kuusen menestymiseen vaikuttavat kuitenkin huomattavasti tuuli, valo-, yms. olosuhteiden muutokset.



- Nuoret puut sietävät vesiolosuhteiden muutoksia huomattavasti paremmin kuin vanhat puut.
- Jos pohjavesi on 2,5-4 m syvyydessä, sillä ei ole merkitystä puuston kannalta eikä sen laskeminen vaurioita puustoa. Korkeamalla olevan pohjaveden laskeminen saattaa vaurioittaa sellaisia puita, joilla normaalisti on syvä juuristo (tervaleppä, saarni, lehtikuusi, tammi, jalava, poppelit).
- Todennäköisempiä ovat vauriot silloin, kun pohjavesi on ennen laskemista 1,5-3 m syvyydessä ja puilla on suotuisissa olosuhteissa kehittynyt syvä juuristo. Vaurioitumisen vaara on pienempi, jos em. puilla on esim. tiiviin maan vuoksi kehittynyt matala juuristo.
- Myös karkeilla, mutta suhteellisen ravinteikkailla hiekkamailla, joilla pohjavesi on korkealla ja puiden juuristo on sen vuoksi kehittynyt matalaksi, voivat puut vaurioitua pohjaveden laskemisen vuoksi.
- Myös valuma-alueen pieneneminen alueilla, joissa tapahtuu pinta- ja pintakerrosvaluntaa saattaa häiritä puuston kasvua.

#### Positiiviset muutokset

- Alueilla, joilla kasvaneet puut ovat kärsineet liian korkealla olevasta pohjavedestä, pohjaveden lasku saattaa vaikuttaa edullisesti puiden kasvuun.
- Suopitoisilla alueilla kuivattava vaikutus aiheuttaa metsän kasvun parantumista. Tällöin esim. heikosti kasvaville soistuneille mänty- tai kuusimetsille saadaan muodostumaan tien viereen lehtipuu- ja pensasvoittoinen reunavyöhyke.

#### 4.8

#### Lyhytaikaisen pohjavedenpinnan alentamisen haittavaikutukset

Työnaikaisen pohjavedenpinnan alenemisen aiheuttamat painumahaitat ovat yleensä vähäiset. Kitkamaassa painumat tapahtuvat nopeasti pohjavedenpinnan laskiessa, mutta painumat jäävät yleensä erittäin pieniksi. Koheesiomaassa kokonaispainumat tapahtuvat

yleensä pitkän ajan kuluessa, joten lyhytaikaisen pohjaveden alentamisen aiheuttamat painumat jäävät yleensä vähäisiksi. Savi- ja silttimaissa jo lyhytaikainen pohjaveden alentaminen voi aiheuttaa huomattavia painumia. Painumien suuruus on määritettävä tarkemmin tapauskohtaisesti.

Lyhytaikainen pohjavedenpinnan alentaminen ei yleensä aiheuta puuperustusrakenteissa lahoamishaittoja.

Mikäli pohjavedenpinnan ei lyhytaikaisestikaan sallita alentua, voidaan pohjavedenpinta työnaikana pyrkiä pitämään alkuperäisellä tasolla syöttämällä vettä suoraan suodatinputki-/kaivojärjestelmiä käyttäen niille alueille, missä vedenpinta ei saa alentua. Erittäin riskialttiissa kohteissa on kaivanto rajattava vesitiiviillä ponttiseinillä ja tiivistettävä vuotokohdat injektoimalla. Lisäksi voidaan kaivannosta pumpattava vesi syöttää kaivannon ulkopuolelle edelläesitetyn mukaisesti.



5

## RAKENNE- JA KUIVATUSRATKAISUT

## 5.1

## Pohjavedenpinnan säätelyn tavoitteet

Pohjavedenpintaa säätelemällä saadaan rakenteille haluttu kestävyys tai tavoitellut ominaisuudet, kuten tien kerrosrakenteille vaadittu kantavuus tai luiskarakenteille routimishaittojen väheneminen.

Varsinainen tieleikkaus tehdään yleensä aina kuiva-työnä. Vähäinen leikkauspohjan häiriintyminen ei tierakenteen kannalta ole tavallisesti kovin haitallista. Työnaikainen kuivanapito järjestetään yleensä suoraan kaivannosta pumppaamalla, pintaajilla tai muulla vastaavalla tavalla. Työnaikainen pohjavedenpinnan alentaminen imuputkistoa käyttäen tulee vain poikkeustapauksessa kysymykseen itse tierakenteen takia.

Sen sijaan tieleikkauspohjan alapuolelle tehtävien kaivantojen, kuten pumppaamojen, siltaperustusten, putkijohtorakenteiden ym. yhteydessä on odotettavissa pohjavesiongelmia. Em. rakenteiden perustaminen edellyttää yleensä, että rakennuspohja säilyy mahdollisimman häiriintymättömänä. Tästä johtuen joudutaan pohjavedenpinnan alapuolelle ulottuvat kaivannot tekemään erikoisratkaisuja käyttäen. Kysymykseen saat-  
taa tulla pohjavedenpinnan työnaikainen alentaminen suodatinputkimenetelmällä, vedenalainen kaivutyö, vesitiiviiden tukiseinien käyttö tai muu vastaava ratkaisu.

Pohjavedenpinnan alentaminen saattaa rakennusvaiheessa olla tällöin erittäin vaikeaa. Tästä syystä rakennusaikaiseen kuivanapidon suunnitteluun on kiinnitettävä vähintään yhtä suuri huomio kuin valmiin rakenteen kuivatukseen.

Pohjaveden aiheuttama noste on aina muistettava tarkistaa niin lopullisessa rakenteessa kuin kaikissa työvaiheissakin. Noste on laskettava tilanteelle, jossa pumppaus on syystä tai toisesta keskeytynyt ja pohjavedenpinta nousee luonnolliseen korkeuteensa.

## 5.2

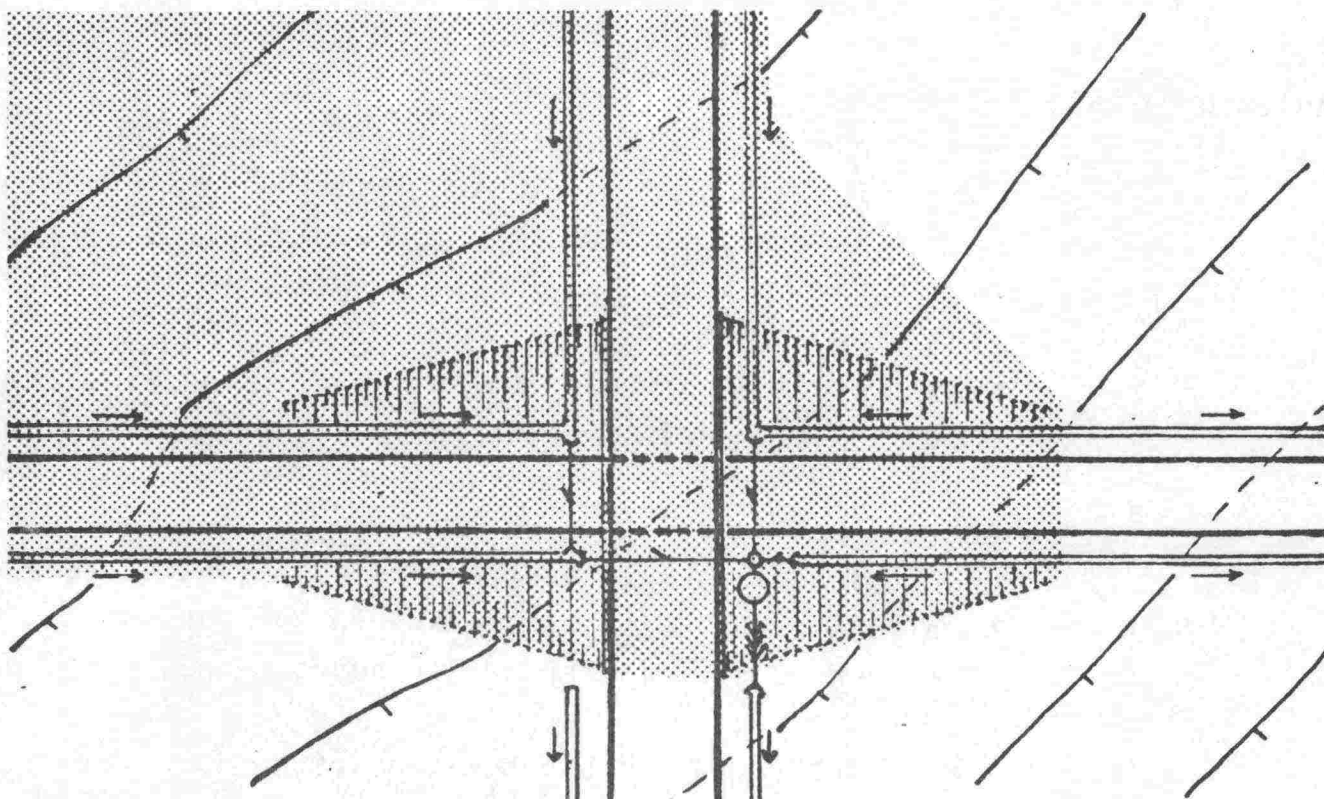
### Valuma-alue ja virtaama

Pohjavesien valuma-alue ja virtaama määritetään pohjavesitutkimusten yhteydessä.

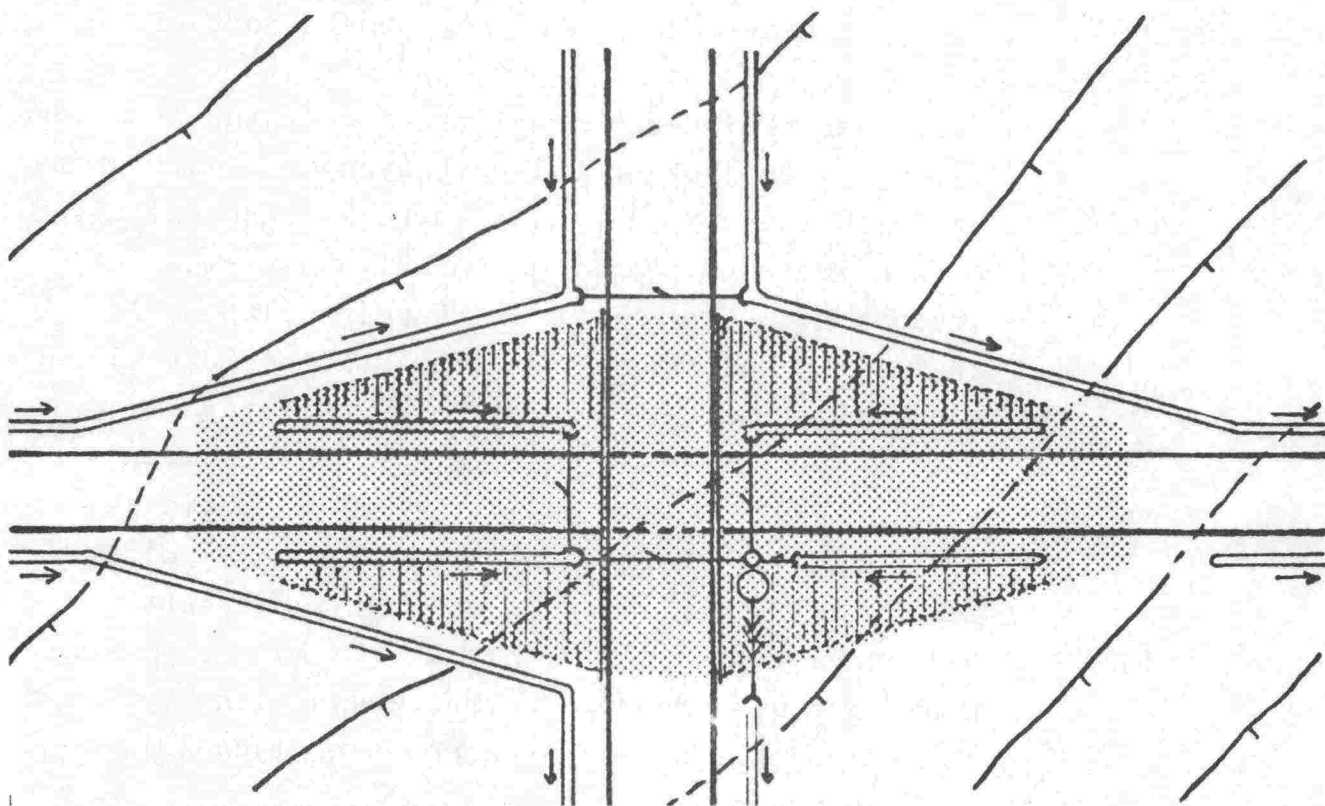
Hulevesien valuma-alueen suuruus määritetään joko karttatarkastelun tai maastohavainnoinnin perusteella. Virtaama määritetään TVL:n teiden suunnitteluohjeiden kohdan "4.21 Pintaveden mitoitusvirtaamat" mukaisesti.

Kaivannon valuma-alueen rajoittaminen tulee kyseeseen lähinnä jouduttaessa hoitamaan kaivannon kuivatus pumppaamalla. Joskus saattaa joko tulvavaaran tai rakennuskustannusten pienentämisen takia tulla kyseeseen valuma-alueen rajoittaminen myös viettoviemäroidyssä syvässä kaivannossa (kuvat 7 ja 8).





Kuva 7. Pumppaamon valuma-alue rajaamattomana.



Kuva 8. Pumppaamon valuma-alue niskaojilla ja rummuilla rajattuna



## 5.3

## Kuivatusratkaisut

Mikäli pohjavedenpinnan laskemisesta syvässä kaivannossa ei ole huomionarvoista haittaa ympäristölle eikä teknisiä vaikeuksia sen toteuttamiselle, on suositeltavaa kuivattaa kaivanto tavanomaisin menetelmin.

Mikäli pohjavedenpinnan laskeminen on mahdollista, mutta se on ympäristöhaittojen ja teknisten vaikeuksien takia syytä pitää kuitenkin mahdollisimman ylhäällä, tulee vertailla ja valita kyseiseen paikkaan niin taloudellisesti kuin teknisesti parhaiten soveltuva vaihtoehto. Tien kuivatuksessa tulevat lähinnä kyseeseen tässä tapauksessa seuraavat kaksi ratkaisua:

- Käytetään maalaatikkoratkaisua ja kuivatetaan vain päällysrakenteen yläosa, joko avo- tai salaojalla (salaoja routasuojattuna).
- Rakennetaan erikoisohut kerrosrakenne käyttäen esim. syväasfalttia, sementtistabilointia tai betonia. Routivassa pohjamaassa saatetaan joutua käyttämään routaeristystä.

Kuivatusratkaisuissa määrittelee kuivatustason joko salaojan vesijuoksun tai purkukynnyksen korkeus tai avo-ojan (sivuojan) pohjan korkeus (sadevesikaivon kannen korkeus). Varsinainen kuivatusviemäröinti joudutaan asentamaan näiden tasojen alapuolelle ja tällöin on kiinnitettävä erityistä huomiota viemäröinnin tiiviyyteen. Jos normaalin suuruiset vuodot sallitaan, voidaan viemäröinti rakentaa betoniputkista kumirengas- tai bituminauhasaumoin ja betonirengaskaivoin. Jos viemäriverkon on oltava mahdollisimman tiivis, tulee sekä johdot että kaivot rakentaa polyeteeniputkista kaikki yhteenpuskukitsaussaumaten. Viemäriverkon suunnittelussa ja rakentamisessa pohjavedenpinnan alapuolelle on muistettava nosteen vaikutus.



Mikäli pohjavedenpinnan laskeminen ei ole mahdollista kohtuuttoman suurten ympäristöhaittojen tai pumppattavien suurten vesimäärien takia, on kyseinen kohta rakennettava pohjavedenpaineen kestäväenä kaukalona ja kuivatus järjestettävä tämän edellyttämällä menetelmällä.

#### 5.4

##### Siltatyypin valinta

Siltatyypin valinnan kannalta on ratkaisevaa, voidaan-ko pysyvä pohjavedenpinnan alennus toteuttaa.

Jos pohjavedenpinta voidaan pysyvästi alentaa, on valittavissa useampia siltatyyppejä.

Elementeistä kootun alusrakenteen käytön etuna on se, että työnaikaisen pohjavedenalennuksen kustannukset ja ympäristöhaitat pienenevät rakentamisajan lyhetessä.

Jos pohjavedenpintaa ei voi alentaa, joudutaan rakentamaan alittava väylä vesitiiviin kaukalon sisään, joka samalla muodostaa sillan alusrakenteen. Sillan kansirakenne voidaan tehdä joko jäykästi tai nivelellisesti alusrakenteeseen liittyväksi. Pohjaveden nosteen kumoaminen tapahtuu joko rakenteen omalla painolla tai ankkuroimalla se kallioon tai alempiin maakerroksiin.

Tavalliset alikulkujen yhteydessä rakennettavien siltojen perustamistavat ovat:

- Perustaminen kallion varaan yhtenäistä perusanturaa tai pilariperustuksia käyttäen.
- Perustaminen maan varaan erillisille anturoille tai yhtenäiselle laatalle.
- Paaluperustukset
  - lyöntipaaluperustukset
  - kaivinpaaluperustukset
  - Franki-paaluperustukset
  - teräs- ym. erikoispaaluperustukset
  - puupaalut erikoistapauksissa
- Uppokaivo- ym. kaivoperustukset.

Kallion varaan perustaminen voi tulla kysymykseen kaikkien siltatyyppeiden osalla. Jos pohjavedenpinta on lähellä kallionpintaa, ei kaivannon teon tai ympäristön kannalta ole suurempia haittoja odotettavissa. Mikäli pohjavedenpinta on ylhäällä, on työnaikaisen pohjavedenpinnan alenemisen vaikutukset tarkistettava. Tarvittaessa on kaivanto rajattava vesitiiviillä ponttiseinillä ja injektoitava vuotokohdat. Erikoistapauksissa tulee kysymykseen myös kallion lujittaminen injektioimalla. Tällöin on tarkistettava injektoinnin mahdolliset vaikutukset pohjaveden laatuun, mikäli lähistöllä on porakaivoja tai vedenottamoita.

Maan varaan perustettaessa on tärkeää, että maapohja perustamistasossa säilyy mahdollisimman häiriintymättömänä. Perustusten ulottuessa pohjavedenpinnan alapuolelle voi maa perustamistasossa löyhtyä ja menettää kantavuutensa. Tarvittaessa on maapohja perustamistasossa suojattava välittömästi kaivutyön jälkeen suodatinkerroksella, alennettava pohjavedenpintaa imuputkistoa käyttäen tai käytettävä vesitiiviitä tukiseiniä. Pyrittäessä nostamaan maanvaraiset anturat mahdollisimman ylös pohjavesivaikeuksien välttämiseksi tulee usein kysymykseen anturoiden routaeristeiden tarpeellisuus.



Joskus saattaa syvemmällä olla hyvin vettäläpäiseviä kerroksia, joiden "puhkaisemista" on pohjaveden alenemisesta johtuvien haittavaikutusten takia vältettävä. Esim. kehäsiltöjen osalla on perustamistasoa mahdollista nostaa korvaamalla erilliset perusanturat yhtenäisellä pohjalaatalla (rengaskehä), jolloin perustaminen voidaan tehdä ylempänä olevien heikompien maakerrosten varaan.

Syvien, pohjaveden alapuolelle ulottuvien kaivantöjen välttämiseksi saattaa olla parempi ratkaisu korvata maanvaraisperustus paaluperustuksella.

Perustaminen paaluille ei aseta siltatyypille poikkeavia vaatimuksia pohjaveden ollessa ylhäällä. Lyöntipaalujen anturat olisi yleensä pyrittävä valamaan kuivatyönä. Kaivinpaalujen teko siten, että paalun teräsputken sisään valettu yläpää muodostaa samalla näkyviin jäävän pilarin, on edullinen tapa välttää pohjavesiongelmia.

Puupaaluperustukset siltöjen osalla ovat nykyisin harvinaisia, eikä niitä saa käyttää, mikäli on vaara, että paalut voivat jäädä pohjavedenpinnan yläpuolelle.

Uppokaivoperustukset tulevat yleensä aina kohteeseen, missä kaivanto ulottuu pohjavedenpinnan alapuolelle. Uppokaivorakennetta käytettäessä kaivutyö ja pohjan valu tehdään yleensä vedenalaisena työnä. Kun vedentulo on vähäistä eikä pohjan murtumavaaraa ole, voidaan kaivutyö tehdä kuivatyönä tarvittaessa sisäpuolelta pumppaamalla. Erikoistapauksissa voidaan vedenalaisen kaivutyön sijasta alentaa pohjaveden pintaa kaivannon ulkopuolelle sijoitettavista suodatinputkista pumppaamalla. Tällöin on otettava huomioon pohjaveden työnaikaisen alentamisen ympäristövaikutukset.

Uppokaivoperustukset ovat edullisia vain silta-tyypeissä, joissa tukireaktiot ovat tavallista suurempia.

Pohjaveden noste voi esiintyä työn aikana oleellisena rasituksena esim. valettaessa kehäsillan laajoja yhtenäisiä anturoita suoraan maan varaan, ellei anturan alle rakenneta vettäläpäisevää sora-arinaa. Mitoitettaessa vedenpaineen rasittamaa rengaskehää tai kaukalopoikkileikkausta noste usein määrää betonin rakennepaksuudet.

## 5.5

### Pumppaamon valinta

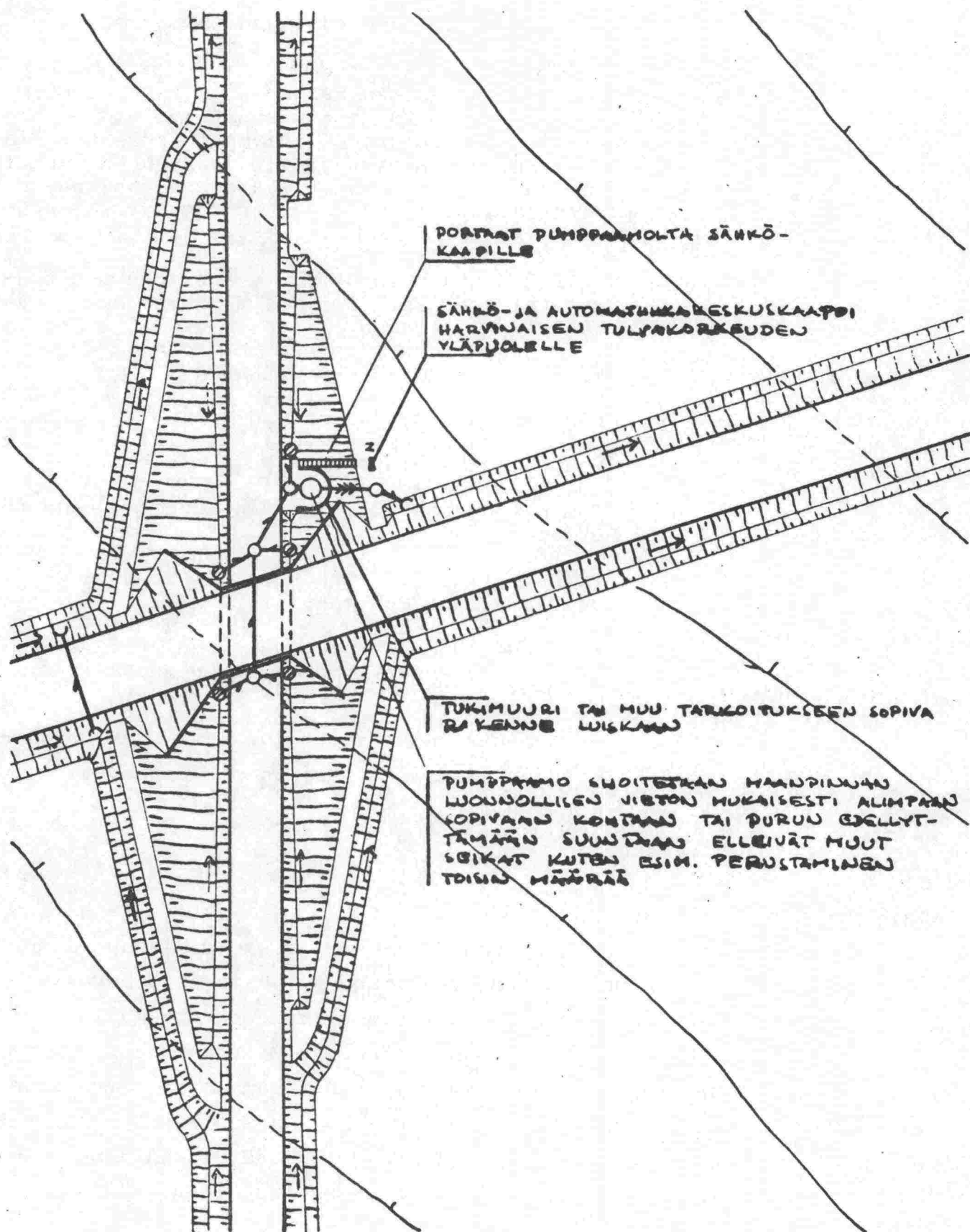
Syvän kaivannon lopullinen kuivatus on pyrittävä mahdollisuuksien mukaan toteuttamaan viettoviemäriellä, vaikka sen rakennuskustannukset olisivatkin pumppaamon pääomitettuja kustannuksia selvästi suuremmat, koska pumppaamon niin hoito- kuin käyttökustannukset ovat nousussa ja pumppaamo voidaan toimintavarmuudeltaan pitää viettoviemäriä huonompana.

Vertailutarkastelussa niin viettoviemärin kuin pumppaamon rakennuskustannuksia arvioitaessa on pyrittävä ennakoivasti ottamaan huomioon kaikki rakentamisessa myöhemmin esiin tulevat toteutusvaiheet kaivannon pohjanvahvistuksineen, tukiseinineen, pohjavedenpinnan alennuksineen, liikenteen ja johtojen järjestelyineen yms.

Pumppaamon suunnittelussa huomioon otettavia tekijöitä:

- Yleensä pumppaamo sijoitetaan kaivannon pohjatasolle sen tilavuuden (korkeuden) ja rakennuskustannusten pienentämiseksi.
- Pumppaamo rakennetaan sinne, missä paineviemäri tulee lyhyimmäksi tai nostekorkeus matalimmaksi, elleivät pakottavat syyt muuta edellytä.





Kuva 9. Esimerkki pumppaamon sijoituksesta.

- Huoltoajoneuvon on päästävä pumppaamolle niin kesällä kuin talvella.
- Pumppaamon sähkökeskus on sijoitettava niin ylös, ettei harvinaisinkaan tulva ulotu siihen. Jos pumppaamo on kaivannon pohjatasolla, on sähkökeskus vietävä ylös kaivannon reunalle. Harvinaisimmaksi tulvatilanteeksi katsotaan tapaus, jossa kaivanto täyttyy kokonaan vedellä.
- Rakentamistapa on otettava huomioon pumppaamo valittaessa. Esim. valmispumppaamot eivät sovellu kohteeseen, missä on edullista pohjaveden korkeuden ja pohjasuhteiden takia käyttää uppokaivorakennetta.
- Pumppaamon näkyvät osat on pyrittävä suunnittelemaan kohtuullisen lujiksi ilkvallan aiheuttamien vahinkojen vähentämiseksi.
- Pumppaamon jäätymiselle arat kohdat on lämpöeristettävä.
- Paineviemärin purkupään suunnittelussa on otettava huomioon jäätymisvaara.
- Pumppaamo on sijoitettava siten, että se ei haittaa rakennettavan sillan perustamista.

Muilta osin pumppaamon suunnittelussa voidaan noudattaa TVL:n teiden suunnitteluohjeiden kappaletta "4.523 Pumppaamot".

## 5.6

### Työnaikainen pohjavedenpinnan alentaminen

Pohjaveden alennusmenetelmä valitaan pohjasuhteiden ja rakennuskohteen vaatimusten mukaisesti. Tavallisimmin pidetään peruskaivanto kuivana pumppaamalla vesi suoraan avokaivannosta. Suoraan kaivannosta pumppaaminen tulee lähinnä kysymykseen soramaassa, savessa ja tiiviissä pohjareenissa. Soramaassa saattaa kuitenkin vedentulo olla niin suuri, että vedenalainen kaivutyö on välttämätöntä perustustöiden osalla.



Siltti- ja hiekkamaissa pohjavedenpinnan alapuolelle tehtävissä kaivannoissa on ilman erityistoimenpiteitä odotettavissa seuraavia häirtatekijöitä:

- Kaivannon luiskien sortuminen.
- Kaivannon pohjan löyhtyminen ja liettyminen sekä kantavuuden ja sallittujen pohjarasituksen pieneneminen.
- Hydraulinen murtuminen.

Edellä esitettyjen häirtavaikutusten estämiseksi voidaan pohjavedenpinta alentaa peruskuopan ympäri sijoitetuista suodatinputkista tai kaivoista pumppaamalla. Alennustyö toteutetaan erikoissuunnitelman mukaan ja alennustyöhön perehtyneen urakoitsijan/työn suorittajan toimesta.

Myös savimaassa saattaa olla hydraulisen sortuman vaara, jos kaivanto ulottuu lähelle vettäjohtavaa karkeampaa maakerrosta. Tämän estämiseksi voidaan pohjavedenpintaa alentaa savikerroksen alapuolisista kerroksista pumppaamalla.

Pohjaveden alennustyössä pumppausvesimäärät ovat useimmiten alle 10 l/sek. Maaperän ollessa hyvin vettäläpäisevää saattavat laajassa kaivannossa alennettaessa pohjavettä useita metrejä pumpattavat pohjavesimäärät olla huomattavan suuretkin. Pumpattavat vesimäärät voidaan luotettavimmin arvioida ennakkoon koepumppauksen perusteella. Tämä voi tulla kyseeseen pumppauskaluston tehoa määrättäessä.

Pohjavedenalennuskalusto muodostuu pumppausyksiköstä, kokoojajohdosta, imuputkista ja imukärjistä.

Pohjaveden pumppaus on aloitettava vähintään 1 - 2 viikkoa ennen varsinaisia rakennustöitä olosuhteista ja laitteistosta riippuen.

Työnaikaisen pohjavedenpinnan alentamisen aiheuttamat painumahaitat ovat yleensä vähäiset. Kitkamaassa painumat tapahtuvat nopeasti pohjavedenpinnan laskiessa, mutta painumat jäävät yleensä erittäin pieniksi. Koheesiomaassa painumien suuruus voidaan arvioida maalaboratoriokokeiden ja painumalaskelmien perusteella. Koheesiomaassa kokonaispainumat tapahtuvat pitkän ajan kuluessa, joten lyhytaikaisen pohjaveden alentamisen aiheuttamat painumat jäävät pienemmiksi.

## 5.7

### Kaivannon tuenta

Yleensä kaivannot suunnitellaan luiskattuina ja tukemattomina, elleivät käytettävissä oleva tila, pohjavesiolosuhteet, ympäristötekijät ym. muuta vaadi.

Savimaassa luiskakaltevuus ja luiskatun kaivannon syvyys riippuvat maan leikkauslujuudesta. Pohjavesi ei yleensä vaikuta tukemistarpeeseen lukuun ottamatta tapausta, jossa kaivanto ulottuu lähelle savikerroksen alapuolisia vettäjohtavia kerroksia, joissa oleva pohjavedenpaine voi aiheuttaa kaivannon pohjan ylösnousun. Tämän estämiseksi voidaan pohjaveden painetta alentaa työn aikana edellä kohdassa 5.6 esitetyn mukaisesti tai tehdä kaivanto tuettuna riittävän pitkiä pontteja käyttäen.

Kitkamaassa pohjavedenpinnan yläpuolella leikkausluiskan kaltevuus on ko. maalajin kitkakulmaa vastaava. Sen sijaan pohjavedenpinnan alapuolelle kaivettaessa pohjavesivirtaus huonontaa luiskavakavuutta



olennaisesti. Kitkamaalajeissa pohjavesivirtauksen vaikutuksesta luiskan kaltevuus on yleensä noin puolet vastaavasta luiskakaltevuudesta kuivassa tilassa. Tästä johtuen on pohjavedenpinnan alapuolelle tehtävät kaivannot yleensä tuettava tai alennettava työn aikana pohjavedenpintaa riittävästi.

Syvissä kaivannoissa luiskavakavuutta pienentäviä olosuhdetekijöitä ovat myös pitkäaikainen sade tai maan kuivuminen ja roudan sulaminen. Näihin voidaan vaikuttaa erilaisin työnaikaisin suojatoimenpitein.

Tuetut kaivannot tulevat yleensä kysymykseen alimpien kuivatusviemäreiden, pumppaamojen ja siltakaivantojen osalla.

Joissakin erikoistapauksissa tuettu kaivanto saattaa olla edullista korvata uppokaivorakenteella. Tämä koskee lähinnä pumppaamoja.

## 6

## VEDEN LAATUTEKIJÄT

Kuivatuksen suunnitteluun vaikuttavat veden laatu-tekijöistä lähinnä seuraavat:

- rautapitoisuus
- aggressiivisuus.

Rautapitoisen pohjaveden joutuessa salaojaan rauta hapettuu ja tukkii salaojaputken raot. Kokemusperäisesti tiilisalaojaputket ovat pysyneet parhaiten auki. Tästä syystä rautapitoisissa pohjavesissä on aina syytä käyttää tiilisalaojaa muovisin liitosrenkain. Betoni- tai muovisalaojaa on syytä välttää. Lisäsuojatoimenpiteenä voidaan suunnitella laatia siten, että salaojaputket sijaitsevat kokoojaputken

ja siten myös pohjavedenpinnan alapuolella, jolloin niiden tukkeutuminen hapettumisen takia hidastuu. Samoin on suunnittelussa otettava huomioon rakenteelliset ratkaisut, jotka helpottavat esim. huuhtelemalla tapahtuvaa puhdistusta.

Veden aggressiivisuus syövyttää varsinkin terästä, mistä syystä esim. pumppaamoihin liittyvät teräsputket on suojattava korroosiolta mahdollisimman hyvin tai mieluummin käytettävä joko ruostumatonta tai haponkestävää terästä. Siellä, missä muovi on riittävän lujaa, voidaan käyttää sitä.

Suunnittelussa on otettava huomioon pohjaveden suojele kuivatuksen suunnitteluohjeiden "Kuivatuksen suunnittelu TVH 722824" kohdan 4.53 mukaisesti.



7

## ERITYISOSA

## 7.1

## Pohjaveden virtauksen perusyhtälöt

Massan häviämättömyyteen perustuvan jatkuvuusyhtälön mukaan, määrättyyn hydrologiseen kokonaisuuteen, esim. akviferiin (vettä johtava ja sisältävä muodostuma) jonakin aikavälinä tuleva vesimäärä eli tulovirtaama on yhtä suuri kuin tästä akviferista samana aikavälinä lähtevä vesimäärä lisättynä tai vähennettynä vesivaraston muutoksella.

Matemattisesti tätä asiaa kuvaa Laplacen yhtälö. Edellyttäen, että huokoinen väliaine (akviferi) on isotrooppinen, eli sen vedenjohtavuusominaisuudet ovat joka suuntaan yhtä suuret, saadaan pohjaveden pysyväälle virtaukselle yhtälö:

$$\begin{array}{cc} \text{tulovirtaama} & \text{menovirtaama} \\ Q_x + Q_y + Q_z - (Q_x + dQ_x) + (Q_y + dQ_y) + (Q_z + dQ_z) = 0 \end{array}$$

kun maa-alkion vesivarasto ei muutu ovat tulo- ja lähtövirtaamat yhtä suuret ei tekijät

$$dQ_x, dQ_y \text{ ja } dQ_z = 0$$

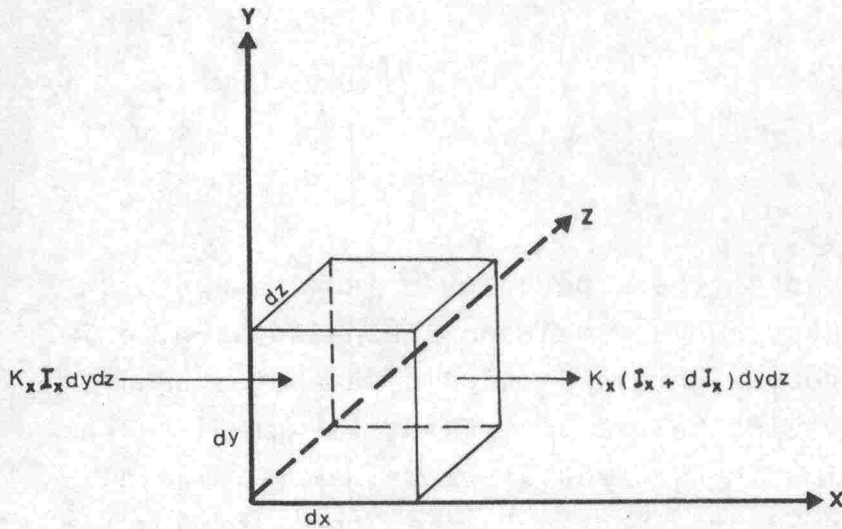
Yllä oleva voidaan esittää myös muodossa:

$$dV_x dydz + dV_y dxdz + dV_z dxdy = 0$$

tai muodossa

$$\delta^2 \phi / \delta x^2 + \delta^2 \phi / \delta y^2 + \delta^2 \phi / \delta z^2 = 0,$$

joka esittää Laplacen pysyvän ja laminaarisen virtauksen jatkuvuusyhtälön energiasisällön  $\phi$  muodossa. Alaviite (x, y ja z) esittää energiasisällön suunta-komponentin.



Kuva 10. Pohjaveden virtaaman tilavuusyksikkö.

Muuttuva virtaus on veden virtaustilanne, jossa virtaustekijät muuttuvat ajan mukana. Jos virtaus on muuttuvaa, tilavuusalkion vesivarasto (akviferin vesivarasto) joko suurenee tai pienenee tarkasteltavana aikavälinä. Tällöin edellä esitettyyn jatkuvan virtauksen yhtälöön tulee lisätekijänä varaston muutos.

Edellä esitetyt laskennalliset seikat ovat perustuneet siihen, että väliaine (akviferi) on isotrooppinen, eli sen vedenläpäisevyysominaisuudet ovat kaikkiin suuntiin samansuuruiset.

Suomen olosuhteissa tämä ei pidä paikkaansa. Tästä johtuen se, mitä laskennallisista menetelmistä tuonempana esitetään, on käsitettävä yleistyksenä, joka varsin pienipiirteisissä yksiköissä ei pidä täsmälleen paikkaansa. Esitettäviä laskentamenetelmiä voidaan kuitenkin käyttää edellyttäen, että ymmärretään tulosten luonne. Yleisimmin pohjaveden virtaus maaperässä tapahtuu yhdessä tasossa eli lähes vaakasuoraan, jolloin Suomen maaperän kerroksellisuuden vaikutus ei ole kovin voimakas. Sen sijaan hydraulisten rajojen (avovesistö, kallioscinämä, savikerros) mer-





Menetelmä on erittäin käyttökelpoinen ja luotettava. Samalla menetelmällä saadaan pohjavedenpinnan todellinen kaltevuus, joka on merkittävä erilaisissa laskelmissa.

## 7.2

### Laskentamenetelmät

Pohjavesitutkimusten tulosten tulkinnassa käytetään avuksi matemaattis-hydraulisia laskelmia. On kuitenkin muistettava, että laskennan tulos ei yksin riitä selvittämään tilannetta, vaan lopullisessa arviossa on aina otettava huomioon vallitsevat hydrogeologiset olosuhteet.

Pohjavesiesiintymän hydraulisten parametrien, vedenläpäisevyyden ja tehokkaan huokoisuuden laskemiseen on kehitetty useita eri laskentatapoja. Ne jaetaan kahteen ryhmään, näennäistasapainotilan ja muuttuvan virtauksen menetelmiin. Jotta laskelmat olisivat yleensä mahdollisia, on jouduttu tekemään eräitä yleistyksiä, jotka tosiasiallisesti harvoin ovat voimassa. Menetelmiä voidaan kuitenkin käyttää hyvin, kun pidetään mielessä niiden rajoitukset. Yleistykset ovat:

- Akviferi (vettäjohtava kerrostuma) on vaakasuorassa suunnassa rajaton.
- Akviferi on homogeeninen, isotrooppinen ja yhtä paksu koko vaikutusalueella.
- Ennen pumppausta pietsometrinen taso tai vapaan pohjaveden pinta on vaakasuora tai lähes vaakasuora koko vaikutusalueella.
- Akviferia pumpataan vakiotuotolla.
- Pumppauskaivo (imuputket) ulottuu koko akviferin paksuudelle ja saa vettä koko akviferin paksuudelta.



Näennäistasapainotilan vallitessa eli silloin, kun pohjavedenpinta koepumppauksen aikana ei enää alene havaintoputkissa tai aleneminen on niin vähäistä, että se on merkityksetöntä, voidaan käyttää Thiemin menetelmää. Se perustuu seuraavaan kaavaan:

$$Q = \frac{2 \pi T (h_2 - h_1)}{\ln (r_2/r_1)} \quad (2)$$

$Q$  = pumppausteho  $m^3/d$

$T$  = akviferin vedenjohtokyky =  $K \times$  akviferin paksuus

$r_1$  = havaintoputken etäisyys pumppauspisteestä

$r_2$  = " " "

$h_1$  = pohjaveden korkeus havaintopisteessä

$h_2$  = " " "

Yllä esitetyn kaavan käyttäminen edellyttää vähintään kahden havaintoputken eli havaintopisteen käyttöä. Yllä esitettyssä kaavassa voidaan myös pohjavedenpinnan korkeuden asemesta käyttää alenemaa vastaavissa putkissa. Tällöin korvataan lauseke  $h_2 - h_1$  lausekkeella  $s_1 - s_2$ , jossa  $s$  = alenema.

Tapauksissa, joissa on käytettävissä ainoastaan yksi havaintoputki etäisyydellä  $r_1$ , käytetään seuraavaa kaavaa:

$$Q = \frac{2 \pi T (S_k - S_1)}{\ln (r_1/r_k)} \quad (3)$$

$S_k$  = alenema pumppauspisteessä

$S_1$  = " havaintoputkessa

$r_1$  = havaintoputken etäisyys pumppauspisteessä

$r_k$  = pumppauspisteen/kaivon halkaisija

Tämän kaavan käyttömahdollisuuksia rajoittaa suuresti se, että pumppauspisteen alenemaan vaikuttavat huomattavassa määrin virtausvastukset pumppauspisteen tai

kaivon välittömässä läheisyydessä sekä virtausvastus itse pumppauspisteeseen tai kaivoon siivilän läpi.

Tästä johtuen jälkimmäistä esitettyä kaavaa tulee käyttää harkintaa noudattaen.

Tulkinnassa menetellään seuraavasti:

- Piirrä jokaisen havaintoputken alenema puoli-logaritmiselle paperille siten, että pystyakselilla on alenema lineaarisella asteikolla ja aika vaakasuoralla akselilla, joka on logaritminen.
- Piirrä jokaisen havaintoputken kautta aika-alenemakäyrät jokaiselle havaintoputkelle. Huomaat, että myöhäisemmässä vaiheessa jokaisen havaintoputken aika-alenemakäyrä asettuu samaan kaltevuuteen tai lähes samaan kaltevuuteen. Tämä merkitsee sitä, että hydraulinen gradientti on vakio ja että virtausta kaivoon tai pumppauspisteeseen voidaan pitää vakiovirtauksena eli vallitsee näennäistasapainotila.
- Sijoita saadut arvot (samana ajankohtana) kahdesta havaintoputkesta ensimmäiseen kaavaan niin, että siihen tulee myös vastaavat etäisyyden arvot, sekä pumppauksen suuruus. Näin voit ratkaista arvon  $T$ .
- Tee näin kaikkien havaintoputkien parittaisena yhdistelmänä. Teoreettisesti tulosten tulisi olla lähes samoja. Käytännössä kuitenkin laskelma antaa vaihtelevan suuruisen eron arvolle  $T$ . Arvojen keskiarvoa käytetään lopullisena tuloksena.

Edellä esitetty laskemistapa on kehitetty arteesiselle pohjavesiesiintymälle. Mikäli vapaapintaissa akviferissa aleneman suhde akviferin paksuuteen on pieni, voidaan laskelmaa käyttää menestyksellisesti.

Mikäli aleneman suhde akviferin paksuuteen kasvaa liiaksi (yli 10 %), aiheutuu tästä virhettä, joka johtuu viivästyneestä antoisuudesta.



Muuttuvan virtauksen tilanteessa käytettävistä las-  
kentamenetelmistä esitetään seuraavassa kolme yleisimmin käytettävää. Ne antavat kaikki likiarvoja ja edellyttävät graafisia ratkaisuja.

Theisin menetelmä:

Menetelmässä edellytetään, että akviferi on arteesinen tai että aleneman suhde akviferin paksuuteen on hyvin pieni.

- Virtaus pumppauspisteeseen on muuttuva eli alenema kasvaa ajan kuluessa eikä muutos ole vähäinen. Samoin hydraulinen gradientti muuttuu ajan mukana.
- Viipynyt antoisuus on vähäinen (merkitys käytännössä lähes olematon).
- Pumppauskaivon tai -pisteen läpimitta on pieni, ts. kaivossa varastoituneena olevan veden merkitys voidaan jättää ottamatta huomioon.

Seuraavassa esitetään tulkintamenettely ja asianomaiset kaavat kunkin työvaiheen kohdalla.

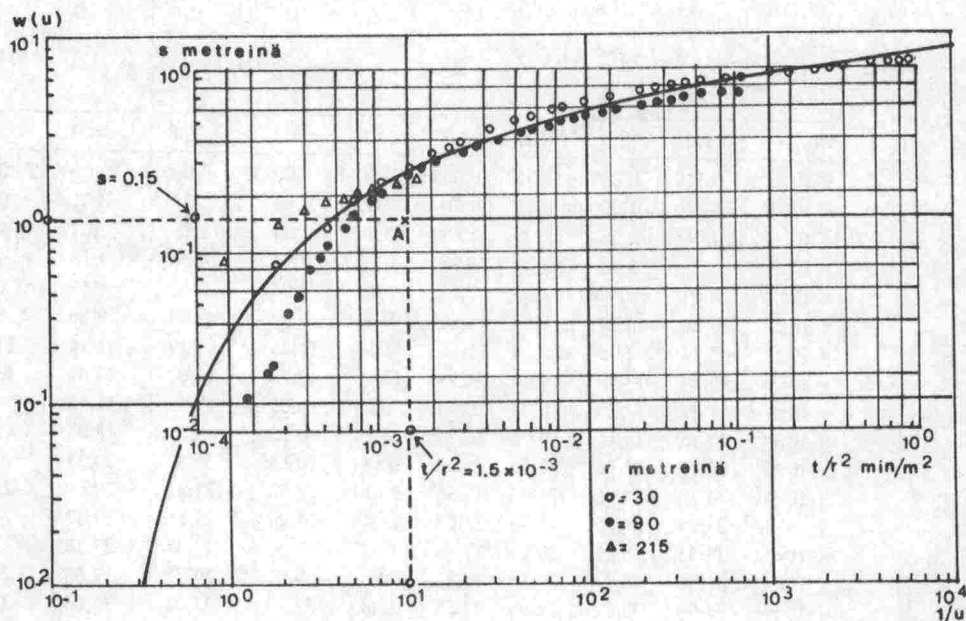
Myöhempiä selitystä ja käyttöä varten esitetään ensin taulukko, jonka perusteella voidaan piirtää Theisin tyyppikäyrä.

u	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0
x 1	0,219	0,049	0,013	0,0038	0,0011	0,00036	0,00012	0,000038	0,000012
x 10 <sup>-1</sup>	1,82	1,22	0,91	0,70	0,56	0,45	0,37	0,31	0,26
x 10 <sup>-2</sup>	4,04	3,35	2,96	2,68	2,47	2,30	2,15	2,03	1,92
x 10 <sup>-3</sup>	6,33	5,64	5,23	4,95	4,73	4,54	4,39	4,26	4,14
x 10 <sup>-4</sup>	8,63	7,94	7,53	7,25	7,02	6,84	6,69	6,55	6,44
x 10 <sup>-5</sup>	10,94	10,24	9,84	9,55	9,33	9,14	8,99	8,86	8,74
x 10 <sup>-6</sup>	13,24	12,55	12,14	11,85	11,63	11,45	11,29	11,16	11,04
x 10 <sup>-7</sup>	15,54	14,85	14,44	14,15	13,93	13,75	13,60	13,46	13,34
x 10 <sup>-8</sup>	17,84	17,15	16,74	16,46	16,23	16,05	15,90	15,76	15,65
x 10 <sup>-9</sup>	20,15	19,45	19,05	18,76	18,54	18,35	18,20	18,07	17,95
x 10 <sup>-10</sup>	22,45	21,76	21,35	21,06	20,84	20,66	20,50	20,37	20,25
x 10 <sup>-11</sup>	24,75	24,06	23,65	23,36	23,14	22,96	22,81	22,67	22,55
x 10 <sup>-12</sup>	27,05	26,36	25,96	25,67	25,44	25,26	25,11	24,97	24,86
x 10 <sup>-13</sup>	29,36	28,66	28,26	27,97	27,75	27,56	27,41	27,28	27,16
x 10 <sup>-14</sup>	31,66	30,97	30,56	30,27	30,05	29,87	29,71	29,58	29,46
x 10 <sup>-15</sup>	33,96	33,27	32,86	32,58	32,35	32,17	32,02	31,88	31,76

Taulukko 3.3. Kaivofunktion  $W(u)$  arvot erällä  $u:n$  arvoilla (6).

## Tulkintamenettely:

- Piirrä Theisin tyyppikäyrä täyslogaritmiselle kuultopaperille siten, että pystyakselille tulee  $W(u)$  ja vaaka-akselille  $u$ . Tämä on normaalityyppikäyrä. Kuitenkin useissa tapauksissa on mukavampaa käyttää käännettyä tyyppikäyrää, joka saadaan siten, että pystyakselille (sijoitetaan)  $W(u)$  ja vaaka-akselille  $1/u$ . (Käyrä saadaan edellisen taulukon arvoista).
- Sijoita havaintoarvot toiselle täyslogaritmi-paperille, joka on samassa mittakaavassa kuin edellinen (piirustuspohjat samankokoiset) siten, että aleneman arvot ( $s$ ) ovat pystyakselilla ja  $t/r^2$  vaaka-akselilla.  
 $t$  = aika pumppauksen alusta  
 $r$  = havaintoputken etäisyys pumppauspisteestä  
 Tähän tarkoitukseen käytetään arvoja, jotka on saatu havaintoputkista. Mikäli käytetään normaalia tyyppikäyrää, tulee  $s$ :n arvo sijoittaa paperiin yhdessä  $t/r^2$  -arvon kanssa. Mikäli  $Q$  = pumppausmäärä on vakio, huomataan, että alenemasuhde  $t/r^2$  käyttäytyy samalla tavalla kuin  $W(u)/u$  ja käyrä muodostuu samantaiseksi.
- Sijoita havaintokäyrä ja tyyppikäyrä päällekkäin siten, että niiden koordinaattiakselit ovat samansuuntaiset ja käyrät tulevat päällekkäin siten, että ne mahdollisimman hyvin vastaavat toisiaan, vertaa alla oleva kuva 12.



Kuva 12. Esimerkki havaintoarvojen ja Theisin tyyppikäyrän yhdistämisestä (superpositio), A = yhdistyspiste.



- Valitse piste A siltä osalta koordinaatistoja, jossa havaintokäyrä ja tyyppikäyrä seuraavat mahdollisimman tarkasti toisiaan. Määrittele tyyppikäyrältä vastaavat  $W(u)$ , joko  $1/u$  tai  $u$ ,  $s$  ja  $t/r^2$  tai vastaavasti  $r^2/t$ . Huomioi, että ei ole tarpeen valita pistettä A siten, että se on tyyppikäyrällä. Itse asiassa laskelmat tulevat huomattavasti yksinkertaisemmiksi, mikäli piste valitaan sieltä, missä koordinaatit tyyppikäyrässä ovat  $W(u) = 1$  ja  $1/u = 10$ .

- Sijoita edellisessä kohdassa saamasi  $W(u)$ ,  $s$  ja  $Q$  kaavaan, joka on alla.

$$T = \frac{Q}{4 \pi s} W(u) \quad (4)$$

$W(u)$  = kaivofunktio.

Näin voit ratkaista arvon  $T$ .

- Laske  $S$  sijoittamalla  $T$ ,  $t/r^2$  ja  $u$  alla olevaan kaavaan.

$$S = 4T(t/r^2)u \quad (5)$$

$S$  = varastokerroin = tehokas huokoisuus

$t$  = aika pumppauksen alusta

$$u = \frac{r^2 S}{4Tt}$$

Toinen menetelmä ratkaista hydrauliset parametrit muuttuvan virtauksen tilanteessa on Jacobin menetelmä. Sekin perustuu Theisin kaavaan, mutta sen sovellettavuuden rajoitukset ovat suuremmat kuin edellisessä.

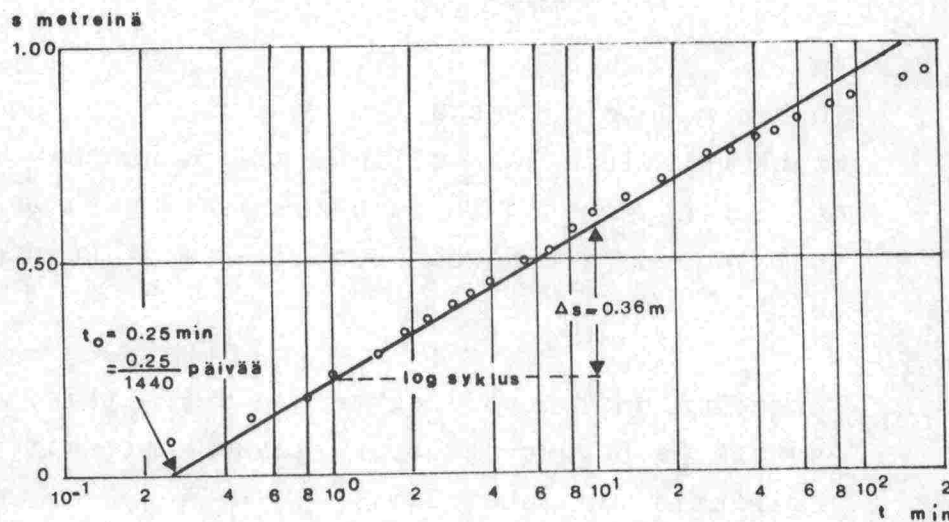
Menetelmä on kenttäolosuhteissa verrattain nopea käyttää ja perustuu suoran viivan käyttämiseen puolilogaritmisella paperilla.

Edellytykset, joiden vallitessa menetelmää voidaan käyttää, ovat samat kuin edellisessäkin. Kuitenkin on toivottavaa, että  $u$ -arvot ovat hyvin pieniä. Vaikutussäde  $r$  on suuri samoin kuin  $t$ , aikakin. Aikavaatimus ei ole vuorokausia, vaan useita tunteja.

Täten ensimmäisen kahden tunnin arvot voidaan yleensä jättää käytännössä ottamatta huomioon, vaikkakin niiden havaitsemisella ja paperille merkitsemisellä on merkitystä tilanteen yleiseksi arvioimiseksi. Esi-merkiksi sen perusteella voidaan arvioida, onko kysymyksessä arteesinen, vuotava arteesinen tai vapaapintainen pohjavesiesiintymä.

Menettely:

- Sijoita havaintoputkesta mitatut aleneman arvot puolilogaritmiselle paperille siten, että aika-akseli on logaritminen ja alenema-akseli, joka on pystyakseli, lineaarinen.
- Piirrä syntyneen pistejonon kautta pisteitä mahdollisimman hyvin kuvaava suora viiva siten, että se ulottuu aika-akselilla nol- laan saakka. Akselin leikkauspiste nol- la-arvon kanssa kirjataan muistiin =  $t_0$ . Tätä tarvitaan myöhemmin laskelmissa.
- Määrää piirretyn suoran viivan kulmakerroin, toisin sanoen aleneman muutos jaettuna ajal- la. Vertaa alla olevaa kuvaa.



Kuva 13. Esimerkki Jacobin menetelmän käytöstä.

- Sijoita  $Q$ :n ja  $\Delta s$ :n arvot seuraavaan kaavaan:

$$T = \frac{2,3 Q}{4 \pi \Delta s} \quad (6)$$

$\Delta s$  = aleneman muutos yhden sykluksen aikana  
(vertaa kuva)



- Sijoittamalla edellä esitetyllä tavalla laskettu  $T$  ja piirtämällä saatu  $t_0$  kaavaan, joka on alla, voidaan laskea tehokkaan huokoisuuden eli varastokertoimen arvo:

$$S = \frac{2,25 T t_0}{r^2} \quad (7)$$

$t_0$  = piirretyn suoran (vertaa kuva) leikkaus-aikamäärä, kun  $S = 0$

Mikäli  $t_0$ :n arvo tulee negatiiviseksi, ei  $S$ :n arvoa voida tällä menetelmällä laskea.

Kun pumppaus lopetetaan, nousee pohjavedenpinta jälleen alkuperäiseen asemaansa. Tätä ilmiötä kutsutaan palautumiseksi. Mainitun nousemisen nopeus voidaan mitata havainnoimalla samalla tavalla kuin on esitetty aikaisemmin pumppauksen alkamisen yhteydessä tehtävistä mittauksista. Kun mittaukset tehdään samalla tavalla kuin aikaisemmin on pumppauksen yhteydessä esitetty, voidaan jokaisesta havaintoputkesta mitattavan nousunopeuden arvon perusteella laskea akviferin vedenjohtokyky =  $T$ . Sen sijaan varastokertoimen eli tehokkaan huokoisuuden arvoa ei tällä menetelmällä voida saada.

Yllä esitetyllä menetelmällä voidaan tehdä laskelmat, mikäli olettamukset, joita esitettiin Jacobin menetelmän yhteydessä, ovat voimassa.

Menetelmän etu tulee esille erityisesti silloin, kun pumppauksen aikana pumppausmäärä on vaihdellut. Silloin voidaan  $Q$ -arvoksi ottaa pumppauksen keskimääräinen tuotto. Täten vaihtelut ja virheet, jotka aiheutuvat pumppaustehon vaihteluista, tulevat eliminoiduiksi.

Menettely:

Edellyttäen, että alenema ja palautuminen ovat yhtä suuret (pohjavedenpinta palaa alkuperäiseen korkeuteen) ja  $u$ :n arvo on riittävän pieni, voidaan kirjoittaa Theisin esittämä residuaalisen aleneman = palautuman kaava seuraavaan muotoon (alkuperäistä kaavaa ei esitetä tässä yhteydessä, koska ilman sitäkin tullaan käytännössä toimeen).

$$s' = \frac{2,3 Q}{4 \pi T} \log \frac{t}{t'} \quad (8)$$

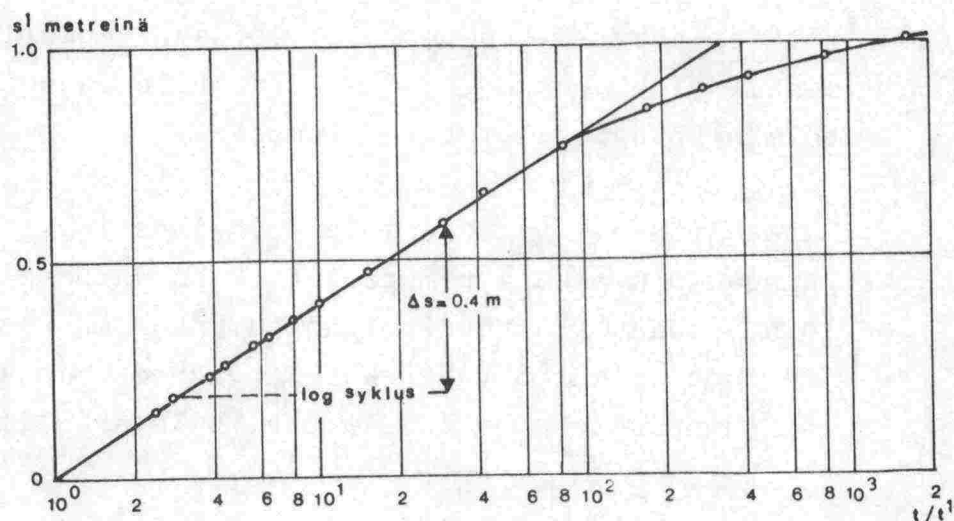
$s'$  = palautuma

$Q$  = keskimääräinen pumppausteho

$t$  = aika pumppauksen alusta

$t'$  = aika pumppauksen lopetuksesta

- Palautuman arvo sijoitetaan puolilogaritmiselle paperille siten, että aika-akselilla eli vaakasuoralla logaritmisella akselilla on  $t/t'$  ja pystyakselilla, joka on lineaarinen, on palautuma. Saatujen arvojen kautta piirretään suora viiva. Piirretyn suoran kulmakerroin =  $\Delta s'$ . Se saadaan parhaiten yhden sykluksen aikaisesta palautuman muutoksesta, katso kuva.



Kuva 14. Esimerkki palautumismenetelmän käytöstä.



- Laske T:n arvo seuraavasta kaavasta.

$$T = \frac{2,3 Q}{4 \pi \Delta S'} \quad (9)$$

Q = pumppausteho

$\Delta S'$  = palautuman muutos yhden sykluksen aikana (vertaa kuva)

Edellä on selostettu kolmea eri laskentamenetelmää, joiden avulla voidaan selvittää akviferin = pohjavesiesiintymän hydrauliset parametrit. Kuten jo aikaisemmin on tullut todetuksi, ovat tulokset keskiarvon kaltaisia, joita tulee käyttää harkintaa noudattaen. Pohjaveden alentamistutkimuksissa on tehokkaan huokoisuuden määrittämisellä vähäisempi merkitys kuin akviferin vedenjohtokyvyn ja sitä kautta k-arvon, eli vedenjohtavuuden tai vedenläpäisevyyden selvittämisellä (vedenjohtavuus saadaan akviferin vedenjohtokyvystä laskemalla siten, että lasketun T:n arvo jaetaan akviferin paksuudella). Akviferin paksuuden arvioinnissa on noudatettava suurta varovaisuutta niin, että kysymykseen tuleva paksuus todella vastaa sitä tehokasta paksuutta, joka alueella vettäjohtavissa kerroksissa esiintyy. Yllä esitetyt ratkaisumallit soveltuvat ainoastaan verrattain yksinkertaisiin tapauksiin. Mikäli kysymyksessä on geologisesti monimutkainen tilanne, eli kysymyksessä on useita päällekkäisiä akvifereita tai orsivesiesiintymiä, läheisyydessä on hydraulisia rajoja tai muodostumat ovat monimutkaisen muotoisia, on käytettävä tehokkaampia ja mutkikkaampia laskumenetelmiä. Näiden käyttämisen selostukseen ei tämän esityksen yhteydessä ole kuitenkaan mahdollisuuksia.

Siirryttäessä muodostuman hydraulisten parametrien laskemisesta seuraavaan tulkintavaiheeseen eli mahdollisen pohjavedenpinnan alentamisen ongelmiin on ratkaistava tarvittava pumppauksen teho ja tehdyn

pumppauksen vaikutussäde lyhyellä ja pitkällä tähtäyksellä.

Näihin laskelmiin on kehitetty useita eri laskumenetelmiä. Seuraavassa esitetään menetelmät tarvittavan pumppausmäärän sekä vaikutussäteen laskemiseksi.

Edellä esitetty kaava

$$Q = \frac{2 \pi T (h_2 - h_1)}{\ln (r_2/r_1)} \quad (2)$$

voidaan ratkaista myös siten, että etsitään  $Q$ :n eli pumppaustehon määrää. Tällöin sijoitetaan  $h_2$ - ja  $h_1$ -arvoiksi halutut pohjavedenpinnan korkeusarvot halutuilla etäisyyksillä, joista vastaavasti käytetään sitten kaavassa etäisyyksiä  $r_2$  ja  $r_1$ .  $T$ :n, joka kaavassa esiintyy, on silloin oltava selvitetty koe-pumppauksen avulla.

Vastaavasti voidaan käyttää kaikkia edellä esitettyjä kaavoja. Muuttuvan virtauksen kaavoja käytettäessä saadaan selville myös aikatekijä, ts. aika, jonka kuluttua vedenpinta saadaan halutussa pisteessä lasketuksi halutulle tasolle, käytettäessä tietyn suuruisen pumppaustehoa.

Pohjavedenpinnan alentamisen vaikutussäteen laskemiseksi voidaan niin ikään käyttää edellä esitettyjä kaavoja. Tällöin etsitään sitä etäisyyttä, jolla alenema = 0.

Vaikutussäteen laskemiseksi on kehitetty erilaisia kokemusperäisiä kaavoja. Tunnetuin näistä on Sichardt'n kaava, joka on:



$$R = 3000 s \sqrt{K} \quad (10)$$

$R$  = vaikutussäde (m)

$s$  = alenema pumppauspaikalla (m)

$K$  = maaperän (akviferin) vedenjohtavuus (m/s)

Vaikka kaava ei varsinaisesti olekaan dimensiotarkka, saadaan lopputulos metreinä, kun sekä  $s$ - että  $K$ -arvo kirjoitetaan metreinä m/s.

Voidaan myös käyttää Kussakin kaavaa:

$$R = 575 s \sqrt{HK} \quad (11)$$

$H$  = etäisyys kaivon pohjasta (pumppaustasosta) pohjaveden alkuperäiseen pinnantasoon

On huomattava, että edellä esitetyt kaavat eivät ota aikatekijää huomioon. Saatava vaikutusetaisyys tulee käsittää lyhytaikaisen näennäistasapainotilan arvoksi. Suomen olosuhteissa tulee pohjaveden alentamisen vaikutus ulottumaan pysyvän pohjaveden alennuksen tilanteessa asianmukaisen valuma-alueen ulkorajalle saakka. Tällöin tulee kysymykseen laskelma siitä, kuinka suurelta alueelta asianomainen pumpattava vesimäärä muodostuu. Samoin on muistettava, että vaikutussäde, joka saadaan laskennallisesti yllä esitetyillä kaavoilla, on ymmärrettävä ympyrän säteeksi. Koska suomalaiset akviferit ovat yleensä pitkänomaisia, lähes kanavamaisia, on ymmärrettävää, että vaikutussäde on eri suuntiin erilainen ja laskennassa saatavan vaikutussäteen avulla voidaan lähinnä arvioida vaikutusalueen pinta-ala. Vaikutusetaisyys on silloin arvioitava geologisten seikkojen perusteella kuhunkin yksittäiseen suuntaan.

Edellä on esitetty peruskaavat ja ratkaisut pohjaveden alentamisessa tarvittavista laskelmista. Lisätiedon saamiseksi viittaamme seuraavaan kirjallisuuteen:

Jussi U. Airaksinen, Maa- ja pohjavesihydrologia, kustannusosakeyhtiö Pohjoinen, Oulu 1978, ISBN 951-9099-73-5

G. P. Kruseman, N. A. de Ridder, Analysis and Evaluation of Pumping Test Data, Bulletin 11, International Institute for Land Reclamation and Improvement/ILRI Wageningen, 1979

Walter Herth ja Erich Arndts, Theorie und Praxis der Grundwasserabsenkung, Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin, München, Düsseldorf, 1973.

### 7.3

#### Geotekniset laskelmat

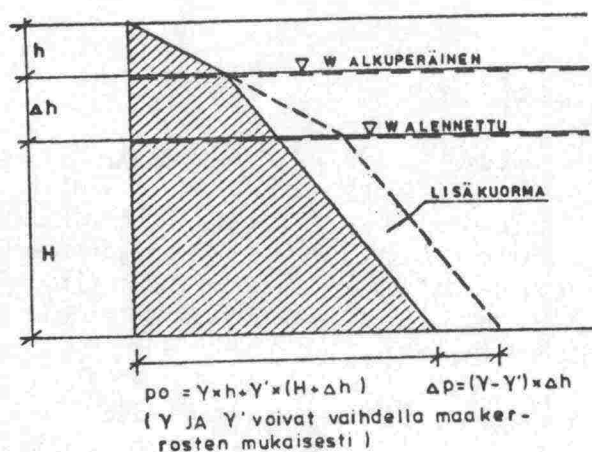
#### 7.31

**Painumalaskenta** Pohjavedenpinnan aleneman suuruus ja laajuus määritetään suunnitteluvaiheessa koepumppausten tai teoreettisten laskentamenetelmien perusteella (vertaa kohta 7.2).

Normaalitapauksessa huokosvedenpaineen jakaantuessa hydrostaattisesti pohjavedenpinnan alenemisesta johtuva lisäkuorma on kuvan 15 mukaan

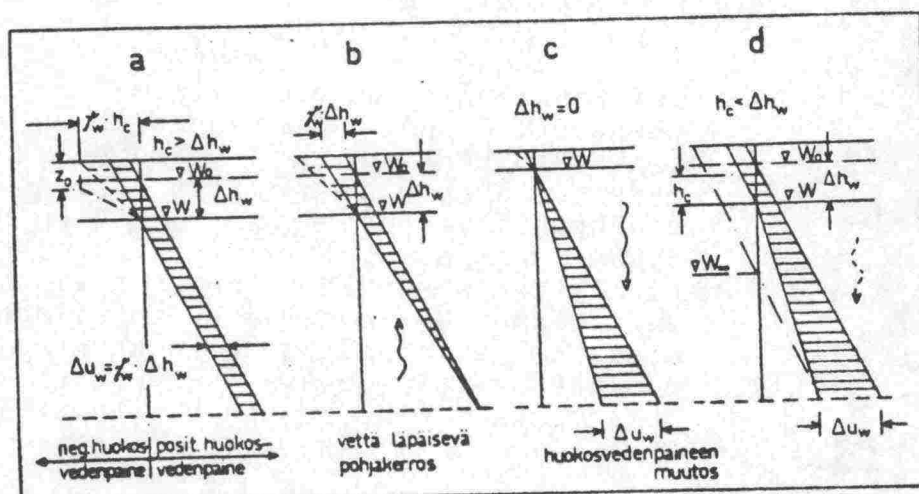
$$\Delta p = (\gamma - \gamma') \times \Delta h$$





Kuva 15. Pohjaveden alenemisen aiheuttama lisäkuorma.

Huokosvedenpaine voi pohjavedenpinnan alenemisen jälkeen jakautua hydrostaattisesta poikkeavasti kuvassa 16 esitetyn mukaisesti.



Kuva 16. Pohjaveden alenemisesta aiheutuva huokosvedenpaineen muutos eri olosuhteissa.

Vedenpaine vettäläpäisevässä pohjakerroksessa riippuu tämän kerroksen yhteydessä olevan pohjavesivaraston hydrostaattisesta vedenpaineesta ja sitä syöttävästä vesimäärästä.

Kuvassa 16 on esitetty seuraavat tapaukset:

- a) Normaali savikko. Saveen tehty tieleikkaus alentaa pohjavettä tutkittavan rakenteen kohdalla tasolta  $W_0$  tasolle  $W$ . Huokosvedenpaineen muutos ulottuu vettä läpäisevään pohjakerrokseen saakka ja vedenpaine jakautuu hydrostaattisesti myös pohjavedenpinnan alenemisen jälkeen.
- b) Arteesinen vedenpaine syvemmällä olevissa kerroksissa. Tieleikkaus ei ulotu alempiin kerroksiin. Pohjavedenpinnan alenemisesta huolimatta vedenpaine pohjakerroksissa pysyy muuttumattomana ja vettä virtaa hitaasti pohjakerroksesta ylöspäin.
- c) Tutkittavan rakenteen lähistölle tehty tieleikkaus ulottuu alempiin vettä johtaviin kerroksiin ja alentaa niissä vesipainetta. Pintakerrokseen tunkeutuva sademäärä pitää pohjavedenpinnan muuttumattomana. Maanpinnasta alaspäin jatkuva virtaus.
- d) Tutkittavan kohteen lähistölle tehty tieleikkaus tai esim. tunnelin rakentaminen alentaa vedenpainetta alapuoliseen vettä johtavaan kerrokseen ja vaikutus ulottuu myös pintakerrokseen, mistä johtuen pohjavedenpinta laskee. Kysymyksessä on hydrodynaaminen jatkuvasti muuttuva tilanne, joka edellyttää alaspäin tapahtuvaa virtausta. Vedenpinnan korkeus  $W_\infty$  kuvaa tilannetta, missä pohjavedenpinta on laskenut alapuolisen vettä johtavan kerroksen hydrostaattista vedenpainetta vastaavaksi.

Painumalaskelmia varten on pohjavesitilanne selvitetävä mahdollisimman tarkasti. Kairausten ja näytetutkimusten lisäksi on tehtävä pohjavedenpinnan korkeushavaintoja ja huokosvedenpainemittauksia. Tehtävien tutkimusten määrä on harkittava tapauskohtaisesti.

Painumien suuruutta arvioitaessa tehdään usein se virhe, ettei selvitetä maan konsolidaatiotilaa riittävän luotettavasti. Tarkempien painumalaskentojen suorittamiseksi on tehtävä ödometrikokeet, jolloin



konsolidaatiotila ja painumaominaisuudet voidaan määrittää maakerroksittain. Ylikonsolidoituneissa maakerroksissa painumat jäävät pieniksi, jos maan esikonsolidaatiojännitys on suurempi kuin maan omasta painosta ja tulevasta lisäkuormasta koostuva kokonaisjännitys.

Normaalikonsolidoituneessa maassa Ohde-Janbun tangenttimodulimenetelmän mukaan kokonaispainuma saadaan seuraavasti:

$$\sum S_z = \sum_{z=0}^h \frac{1}{M_z \beta_z} \left[ \left( \frac{P_{oz} + \Delta P_z}{\delta_v} \right) - \left( \frac{P_{oz}}{\delta_v} \right)^{\beta_z} \right] \Delta z$$

$M_z$  = moduliluku syvyydellä  $z$

$\beta_z$  = moduliekspONENTTI syvyydellä  $z$

$P_{oz}$  = maakerrosten tehokas paino syvyydellä  $z$

$\Delta P_z$  = kuormituslisä syvyydellä  $z$

$\delta_v$  = 100 kN/m<sup>2</sup>, kun käytettävät yksiköt ovat m ja kN/m<sup>2</sup>

$\Delta z$  = kokoonpuristuvan osamaakerroksen paksuus

Ylikonsolidoituneilla maakerroksilla (esikons. jännitys  $p_c < p_o + \Delta p$ )  $\beta$ :n ollessa = 0 saadaan kokonaispainuma vastaavasti:

$$\sum S_z = \sum_{z=0}^h \frac{1}{M_{2z}} \ln \left( \frac{P_{oz} + \Delta P_z}{P_o} \right) \Delta z$$

$M_{2z}$  = ylikonsolidoituneen maan moduliluku syvyydellä  $z$

Tapauksessa, jolloin maakerrosten tehokas paino  $p_o < p_c$  esikonsolidaatiojännitys  $p_c < p_o + \Delta p$ , lasketaan painuma lisäkuormalle  $p_c - p_o$  ylikonsolidoituneen maan kokoonpuristuvuusparametreja käyttäen ja lisäkuormalle  $p_o + \Delta p - p_c$  normaalikonsolidoituneen maan mukaisesti.

Savimaalajeilla karkeaa painumien suuruusluokkaa voidaan arvioida maan luonnollisen vesipitoisuuden perusteella

$$S = \sum_0^h \frac{0,85 \sqrt{W}}{\gamma_s + 1/W} \log \left( \frac{p_o + \Delta p}{p_o} \right) \Delta Z$$

- h = kokoonpuristuvan kerroksen kokonaispaksuus  
 $\Delta p$  = pohjaveden alenemisesta aiheutuva lisäkuorma ko. maakerroksessa  
 $\Delta Z$  = ko. maakerroksen paksuus  
W = ko. maakerroksen vesipitoisuus (W %/100)  
 $\gamma_s$  = maan ominaispaino

Vesipitoisuuteen perustuva likiarvokaan ei kuitenkaan ole yleensä riittävä painumien arvioimiseen. Esim. maan konsolidoitumistila jää huomioimatta.

Kokonaispainumien lisäksi on aina selvitettävä myös painuma-aika ainakin suuruusluokaltaan.

Painumalaskelmien suorittamiseksi on edelläesitetyn lisäksi olemassa muita käyttökelpoisia menetelmiä ( $\epsilon_z$ -,  $C_c$ - ja  $m_v$ -menetelmät). TVH:lla on oma atk-ohjelma koheesiomaiden painumien laskemiseksi.

Painumalaskentamenetelmistä löytyy tarkempia tietoja mm. seuraavista julkaisuista:

- Maarakennusalan tutkimus- ja suunnitteluohjeita, tvh 732660/osa IV, sivut 53 - 83
- VTT:n geotekniikan laboratorion tiedonanto n:o 21/v. 1975. "Rakennusten perustaminen maan varaan. Painuman laskeminen"
- Pohjarakennus. RIL 95/v. 1974, sivut 85 - 96 ja 199 - 200.



7.32

Sallittujen painumien ja painumaerojen suuruus eri rakenteille

Epätasaisten painumien syynä ovat pehmeikön syvyysvaihtelut rakenteen kohdalla. Myös kokoonpuristuvuusominaisuudet voivat vaihdella paikallisesti. Tiiviin ja homogeenisen kitkamaakerroksen välissä voi olla savi- tai silttikerros, joka ulottuu ainoastaan osalle ko. rakennusaluetta.

Oheisessa taulukossa on esitetty pohjarakennusohjeiden 1979 mukaiset kokonaispainumien ja kulmakiertymien raja-arvot eri rakennetyypeille.

Rakennetyyppi	Kokonaispainuman raja-arvo (mm)	Kulmakiertymän raja-arvojen vaihteluväli	
		Kitkamaa	Koheesiomaa
Massiiviset jäykät rakenteet	100...150	$\frac{1}{250} \dots \frac{1}{200}$	$\frac{1}{250} \dots \frac{1}{200}$
Staatteisesti määrätty rakenteet ja puurakenteet	100...150	$\frac{1}{400} \dots \frac{1}{300}$	$\frac{1}{300} \dots \frac{1}{200}$
Teräsrakenteet	80...100	$\frac{1}{500} \dots \frac{1}{200}$	$\frac{1}{500} \dots \frac{1}{200}$
Muuratut rakenteet	40... 80	$\frac{1}{1000} \dots \frac{1}{600}$	$\frac{1}{800} \dots \frac{1}{400}$
Teräsbetonirakenteet	60...100	$\frac{1}{1000} \dots \frac{1}{500}$	$\frac{1}{700} \dots \frac{1}{350}$
Teräsbetonielementtirakenteet	40... 80	$\frac{1}{1200} \dots \frac{1}{700}$	$\frac{1}{1000} \dots \frac{1}{500}$
Teräsbetonikehärakenteet	30... 60	$\frac{1}{2000} \dots \frac{1}{1000}$	$\frac{1}{1500} \dots \frac{1}{700}$

Kuva 17. Tasaisten kokonaispainumien ja kulmakiertymien raja-arvoja.

Halkeamia syntyy yleensä silloin, kun painumaero on suurempi kuin  $1/300$ . Pientalo sietää tavallisesti noin 5 cm:n suuruusluokan painumaeron ilman vakavia vaurioita. Jos lattian kaltevuus on suurempi kuin  $1/150$ , voivat ovet ja ikkunat juuttua kiinni ja

kaltevuus haittaa asumista. Tiilirakennukset, kevyt-betonirakennukset ja elementtirakennukset vaurioituvat yleensä helposti painumaerojen johdosta.

Jos rakennus on perustettu paaluille ja ympäröivä maa painuu yli 15...20 cm, voivat viemäri- ja vesijohtoputket katketa saumakohdista.



ISBN 951-46-5585-0